

Rec'd PCT/PTO 09 MAY 2005  
PCT/1 B 04 / 005 63  
10 34389  
Mod. C.E. - 1-4-7

MODULARIO  
L.C.A. - 101



REC'D 02 APR 2004

WIPO

BCT

# Ministero delle Attività Produttive

Direzione Generale per lo Sviluppo Produttivo e la Competitività

Ufficio Italiano Brevetti e Marchi

Ufficio G2



Autenticazione di copia di documenti relativi alla domanda di brevetto per: **Invenzione Industriale**  
N. **TO2003 A 000166** ✓

*Si dichiara che l'unità copia è conforme ai documenti originali  
depositati con la domanda di brevetto sopraspecificata, i cui dati  
risultano dall'accluso processo verbale di deposito.*

## PRIORITY DOCUMENT

SUBMITTED OR TRANSMITTED IN  
COMPLIANCE WITH RULE 17.1(a) OR (b)

23 MAR. 2004

Roma, li .....

IL FUNZIONARIO

Giampietro Carlotta

BEST AVAILABLE COPY





NUMERO DOMANDA

NUMERO BREVETTO

TO 2 03 A 000166

REG. A

DATA DI

06/03/2008

DATA DI RILASCIO

## A. RICHIEDENTE (I)

Denominazione

C.R.F. Società Consortile per Azioni

Residenza

Orbassano TO

## D. TITOLO

"Emettitore ad alta efficienza per sorgenti di luce ad incandescenza"

Classe proposta (sez./cl./scl/)

(gruppo/sottogruppo)

## L. RIASSUNTO

Un emettitore per sorgenti di luce ad incandescenza, in particolare un filamento, suscettibile di essere portato all'incandescenza tramite passaggio di corrente elettrica è realizzato in modo da avere un valore di assorbimento spettrale  $\square$  alto nella regione visibile dello spettro e basso nella regione infrarossa dello spettro, detto assorbimento  $\square$  essendo definito come  $\square = 1 - \square - \square$ , dove  $\square$  è la riflettanza spettrale e  $\square$  è la trasmittanza spettrale dell'emettitore stesso.



## M. DISEGNO

CAMERA DI COMMERCIO  
INDUSTRIA ARTIGIANATO E AGRICOLTURA  
DI TORINO

**DESCRIZIONE** dell'invenzione industriale dal titolo:

"Emettitore ad alta efficienza per sorgenti di luce ad incandescenza"

di: C.R.F. Società Consortile per Azioni, nazionalità italiana, Strada Torino 50 - 10043 Orbassano (TO).

Inventori designati: Piermario REPETTO, Daniele PULLINI, Davide CAPELLO, Mauro BRIGNONE, Vito LAMBERTINI, Nello LI PIRA, Piero PERLO.

Depositata il: 6 Marzo 2003

TO 2003A 000166

\* \* \*

**TESTO DELLA DESCRIZIONE**

La presente invenzione ha per oggetto un emettitore per sorgenti di luce ad incandescenza, in particolare un filamento, suscettibile di essere portato all'incandescenza tramite passaggio di corrente elettrica.

Come è noto, le tradizionali lampade ad incandescenza sono dotate di un filamento di tungsteno (W) che viene reso incandescente dal passaggio di corrente elettrica. L'efficienza delle lampade ad incandescenza tradizionali è limitata dalla legge di Planck, la quale descrive l'intensità spettrale  $I(\lambda)$  della radiazione emessa dal filamento di tungsteno della lampada alla temperatura  $T$  di equilibrio, e dalle perdite di calore per conduzione

BUZZI, NOTARO &  
ANTONELLI D'OUX  
s.r.l.

e convezione. L'energia irradiata dal filamento in tungsteno nell'intervallo visibile dello spettro elettromagnetico è proporzionale all'integrale della curva  $I(\lambda)$  tra  $\lambda_1=380$  nm e  $\lambda_2=780$  nm.

Secondo la legge di Kirchhoff, sulla quale si basa la presente invenzione, in condizioni di equilibrio termico la radiazione elettromagnetica assorbita da un corpo ad una specifica lunghezza d'onda è pari alla radiazione elettromagnetica emessa.

Una conseguenza diretta di questa legge è che l'emittanza spettrale " $\epsilon$ " di una superficie coincide con l'assorbanza spettrale " $\alpha$ ". L'assorbanza spettrale " $\alpha$ " è a sua volta legata alla riflettanza spettrale " $\rho$ " e alla trasmittanza spettrale " $\tau$ " attraverso la relazione  $\alpha=1-\tau-\rho$ , da cui discende la relazione  $1-\epsilon=\tau+\rho$ . Per un materiale opaco,  $\tau$  è sostanzialmente nulla e la riflettanza spettrale  $\rho$  coincide con  $(1-\epsilon)$ ; si osservi, tuttavia, che qualunque materiale per spessori sufficientemente piccoli ha una trasmittanza spettrale  $\tau$  diversa da 0.

La relazione  $\tau+\rho=1-\epsilon$  dice implicitamente che, se la superficie di un corpo opaco ha una bassa riflettanza spettrale ad una data lunghezza d'onda, la corrispondente emissività spettrale sarà molto alta; viceversa, se la riflettanza spettrale è alta,

BUZZI, NOTARO &  
ANTONIELLI D'OULX  
s.r.l.

l'emissività corrispondente sarà bassa.

Emissività, assorbanza, trasmittanza e riflettanza sono funzione, oltre che della lunghezza d'onda, anche della temperatura  $T$  e dell'angolo di incidenza/emissione  $\theta$ , ma le relazioni sopra esposte valgono per qualsiasi  $T$ , qualsiasi lunghezza d'onda e qualsiasi angolo, in quanto discendono da pure considerazioni termodinamiche. In generale la relazione  $\tau + \rho = 1 - \varepsilon$  può quindi essere riscritta come

$$\tau(\lambda, T, \theta) + \rho(\lambda, T, \theta) = 1 - \varepsilon(\lambda, T, \theta).$$

Le curve di riflettanza e trasmittanza spettrale ad una data temperatura  $T$ , da cui discendono i valori di assorbanza e di emissività a tale temperatura, possono essere calcolate a priori attraverso le costanti ottiche (sempre a temperatura  $T$ ) del materiale o dei materiali costituenti l'emettitore per una qualsiasi geometria dell'emettitore stesso e per qualsiasi angolo di incidenza/emissione.

Le costanti ottiche del materiale sono i valori reale  $n$  ed immaginario  $k$  dell'indice di rifrazione; i valori di  $n$  e  $k$  per la maggior parte dei materiali noti sono stati misurati sperimentalmente e sono disponibili in letteratura. Non esistono in generale valori di  $n$  e  $k$  disponibili alle temperature di interesse per sorgenti ad incandescenza. I calcoli di

BUZZI, NOTARO &  
ANTONIELLI D'OUX  
s.r.l.

riflettanza e trasmittanza, presentati nel seguito della descrizione e nelle relative figure, si riferiscono a costanti ottiche misurate a temperatura ambiente; tuttavia, le considerazioni fatte hanno validità generale e possono essere facilmente trasferite al caso di alte temperature.

In una sorgente ad incandescenza tradizionale la radiazione viene emessa da un filamento in tungsteno, la cui temperatura operativa è intorno ai 2800K; la radiazione emessa segue la legge del corpo nero, il cui spettro corrispondente è dato dalla relazione di Planck. Il filamento può essere con buona approssimazione considerato un corpo grigio, ossia con emissività costante in tutto lo spettro di interesse. Per definizione, un corpo nero è un corpo grigio con emissività  $\varepsilon(\lambda, T, \theta)$  indipendente da  $\lambda$  e da  $\theta$  e pari al 100% (valore massimo). Lo spettro di emissione di un corpo grigio si può ottenere moltiplicando lo spettro di corpo nero  $I(\lambda)$  (dato dalla relazione di Planck) per il valore di emissività  $\varepsilon(T)$ . Per un corpo non-grigio, la curva di Planck  $I(\lambda)$  va invece moltiplicata per una curva di emissività spettrale  $\varepsilon(\lambda, T, \theta)$ .

L'emissività spettrale del tungsteno è in generale funzione della temperatura; empiricamente è



BUZZ, NOTARO &  
ANTCINIELLI D'OUJX  
s.r.l.

stato dimostrato che l'emissività media del tungsteno segue la relazione

$$\varepsilon_m(T) = -0.0434 + 1.8524 \cdot 10^{-4} \cdot T - 1.954 \cdot 10^{-8} \cdot T^2.$$

Alle basse temperature la curva di emissività spettrale può essere facilmente ricavata misurando lo spettro di riflettanza del tungsteno ed applicando la relazione  $\varepsilon(\lambda, T, \theta) = 1 - \rho(\lambda, T, \theta)$ ; alle temperature di incandescenza questo tipo di misura diventa impraticabile, in quanto lo spettro di riflettanza e quello di emissione sono ovviamente mescolati. Alla temperatura di 2800K, l'emissività media del tungsteno è circa uguale al 30%, il che corrisponde ad una riflettanza media pari a circa il 70%. A 2800K, il picco nello spettro di emissione si ha ad una lunghezza d'onda di poco superiore ad 1 micron, il che presuppone che la maggior parte della radiazione viene emessa in forma di infrarosso. In particolare, per un corpo grigio a temperatura 2800K, poco meno del 10% della radiazione è emesso nello spettro visibile (380-780 nm), mentre oltre il 20% viene emesso nell'infrarosso vicino (780-1100 nm). In realtà il filamento di tungsteno non è un corpo grigio vero e proprio, ma ha una emissività spettrale pressappoco costante nel visibile, che tende a diminuire significativamente nell'infrarosso vicino,

BUZZI, NOTARO &  
ANTONELLI D'OUX  
s.r.l.

come evidente dalle curve di riflettanza e emissività spettrale riportate in figura 1. Nel grafico di figura 1, le curve CR e CE rappresentano rispettivamente la riflettanza e l'emissività del tungsteno a temperatura ambiente per diverse lunghezze d'onda nello spettro visibile e vicino infrarosso. Questo fa sì che l'efficienza di un filamento di tungsteno, intesa come rapporto tra radiazione visibile e radiazione complessivamente emessa, sia decisamente superiore a quella di un corpo grigio; il vantaggio è ancora più significativo se si considera l'emissività spettrale del tungsteno a temperatura ambiente.

La figura 2 mette a confronto la curva di Planck a 2800K, indicata con CP, con la potenza spettrale emessa da un filamento di tungsteno a 2800K; per il tungsteno, il grafico riporta sia i valori misurati sperimentalmente (curva PM), sia i valori calcolati utilizzando le costanti ottiche del tungsteno a temperatura ambiente (curva PC).

Tuttavia, va osservato come l'efficienza complessiva di una sorgente ad incandescenza, intesa come rapporto tra potenza luminosa irradiata e potenza elettrica dissipata, sia di fatto ridotta da ulteriori fattori dissipativi, in particolare le

LUZZI, NOTARO &  
ANTONELLI D'OUX  
s.r.l.

perdite per convezione dal filamento verso il bulbo e le perdite per conduzione lungo i reofori della lampada.

Le perdite per conduzione si possono generalmente ridurre aumentando il rapporto tra lunghezza e sezione del filamento. Le perdite per convezione si possono virtualmente eliminare mantenendo il filamento nel vuoto; ai fini pratici questa soluzione è però inattuabile, a causa del fatto che il tasso di evaporazione del tungsteno nel vuoto è troppo elevato e non garantisce una vita media della lampada sufficientemente lunga. Lo sforzo per minimizzare le perdite di calore ha quindi portato alla forma a doppia spirale, attualmente utilizzata nella stragrande maggioranza delle sorgenti ad incandescenza. Le lampade alogene sfruttano invece meccanismi particolari che permettono di portare il filamento a temperature maggiori, spostando così il picco di emissione verso la regione visibile dello spettro ed aumentando l'efficienza luminosa della sorgente.

Sulla base di quanto sopra esposto, la presente invenzione si propone di realizzare un emettitore per sorgenti ad incandescenza, suscettibile di essere portato all'incandescenza tramite un passaggio di

BUZZI, NOTARO &  
ANTONELLI D'OULX  
s.r.l.

corrente elettrica, avente un'efficienza superiore a quella dei filamenti per lampade ad incandescenza ottenuti con tecniche tradizionali.

In breve, l'invenzione prevede l'impiego di un emettitore in materiale conduttore o semiconduttore, e quindi suscettibile di essere portato all'incandescenza tramite passaggio di corrente elettrica, realizzato in modo da avere un valore di assorbimento spettrale  $\alpha$  alto nella regione visibile dello spettro e basso nella regione infrarossa dello spettro (lunghezze d'onda superiore a 780 nm), detto assorbimento  $\alpha$  essendo definito come  $\alpha=1-\rho-\tau$ , dove  $\rho$  è la riflettanza spettrale e  $\tau$  è la trasmittanza spettrale dell'emettitore stesso.

La caratteristica di assorbimento spettrale dell'emettitore secondo l'invenzione può essere ottenuta attraverso la combinazione tra le proprietà ottiche dei materiali che lo costituiscono con una sua particolare geometria.

In una possibile implementazione, gli scopi della presente invenzione possono essere raggiunti attraverso l'utilizzo di un materiale conduttore, ad esempio un metallo, opaco sia nel visibile sia nell'infrarosso ( $\tau=0$ ), e dotando tale conduttore con mezzi antiriflesso operanti per ridurre la



BUZZI, NOTARO &  
ANTONELLI D'OULX  
s.r.l.

riflettanza  $\rho$  nella regione visibile dello spettro, pur mantenendo elevata o addirittura aumentando la riflettanza  $\rho$  nel vicino infrarosso.

Tali mezzi antiriflesso possono essere, ad esempio, rivestimenti dielettrici a uno o più strati del materiale che realizza l'emettitore; le proprietà antiriflesso possono anche essere ottenute attraverso una opportuna microstrutturazione della superficie dell'emettitore, o ancora attraverso una combinazione di microstrutturazione e rivestimento dielettrico multistrato. In alternativa, gli scopi dell'invenzione possono essere raggiunti realizzando l'emettitore con un sottile strato di materiale semiconduttore, avente bassa riflettanza  $\rho$  sia nel visibile sia nell'infrarosso, alta trasmittanza  $\tau$  nell'infrarosso vicino e bassa trasmittanza  $\tau$  nel visibile; come risulterà chiaro in seguito, questa caratteristica alle alte temperature è tipica dei semiconduttori con grande banda proibita o "bandgap", quali ad esempio il carburo di silicio (SiC).

Caratteristiche specifiche preferite dell'invenzione sono indicate nelle rivendicazioni allegate, che si intendono parte integrante della presente descrizione.

Ulteriori scopi, caratteristiche e vantaggi

BLZZI, NOTARO &  
AN TONIELLI D'OUX  
s.r.l.

dell'invenzione risulteranno chiariti dalla descrizione che segue, effettuata con riferimento ai disegni annessi, forniti a puro titolo di esempio non limitativo, in cui:

- la figura 1 è un grafico che rappresenta la riflettanza (curva CR) e l'emissività (curva CE) del tungsteno a temperatura ambiente per diverse lunghezze d'onda nello spettro visibile e vicino infrarosso.

- la figura 2 è un grafico che mette a confronto la curva di Planck a 2800K (curva CP) con la potenza spettrale emessa da un filamento di tungsteno a 2800K; per il tungsteno, il grafico riporta sia i valori misurati sperimentalmente (curva PM), sia i valori calcolati utilizzando le costanti ottiche del tungsteno a temperatura ambiente (curva PC);

- le figure 3 e 4 sono rappresentazioni schematiche in sezione di una porzione di un emettitore secondo l'invenzione dotato, rispettivamente, di un rivestimento monostrato in ossido di ittrio e di un rivestimento multistrato, ossia presentante un'alternanza di strati dielettrici o semiconduttori;

- la figura 5 è un grafico che rappresenta l'emissività spettrale ad angolo di incidenza  $0^\circ$  a

BUZZI, NOTARO &  
ANTONELLI D'OUXX  
s.r.l.

temperatura ambiente per un emettitore di tungsteno rivestito secondo l'invenzione da uno strato di ossido di ittrio o ittria (curva ER), confrontata con l'emissività spettrale di un emettitore in tungsteno semplice nelle stesse condizioni di temperatura e angolo di incidenza (curva ET);

- la figura 6 è un grafico che mostra la potenza spettrale emessa ad angolo di incidenza  $0^\circ$  da un emettitore di tungsteno a 2000K rivestito secondo l'invenzione da uno strato di 50 nm di ittria (curva PR), confrontata con la curva di Planck (curva CP) e con la potenza spettrale emessa da un emettitore di tungsteno semplice nelle stesse condizioni di temperatura e angolo di incidenza (curva PT);

- la figura 7 è un grafico che rappresenta l'emissività spettrale ad angolo di incidenza  $60^\circ$  a temperatura ambiente per un emettitore di tungsteno rivestito secondo l'invenzione da uno strato di 55 nm di ossido di ittrio o ittria (curva ER), confrontata con l'emissività spettrale di un emettitore in tungsteno semplice nelle stesse condizioni di temperatura e angolo di incidenza (curva ET);

- la figura 8 è un grafico che mostra la potenza spettrale emessa ad angolo di incidenza  $60^\circ$  da un emettitore di tungsteno rivestito secondo

BUZZI, NOTARO &  
ANTONIELLI D'OUX  
s.r.l.

l'invenzione da uno strato di 55 nm di ittria a 2000K (curva PR), confrontata con la curva di Planck (curva CP) e con la potenza spettrale emessa da un emettitore di tungsteno semplice nelle stesse condizioni di temperatura e angolo di incidenza (curva PT);



- la figura 9 è un grafico che rappresenta l'emissività spettrale ad angolo di incidenza  $75^\circ$  a temperatura ambiente per un emettitore di tungsteno rivestito secondo l'invenzione da uno strato di 60 nm di ossido di ittrio o ittria (curva ER), confrontata con l'emissività spettrale di un emettitore di tungsteno semplice nelle stesse condizioni di temperatura e angolo di incidenza (curva ET);

BUZZI, NOTARO &  
ANTONELLI DOULX  
s.r.l.

- la figura 10 è un grafico che mostra la potenza spettrale emessa ad angolo di incidenza  $75^\circ$  da un emettitore di tungsteno rivestito secondo l'invenzione da uno strato di 60 nm di ittria a 2000K (curva PR), confrontata con la curva di Planck (curva CP) e con la potenza spettrale emessa da un emettitore di tungsteno semplice nelle stesse condizioni di temperatura e angolo di incidenza (curva PT);

- la figura 11 è una rappresentazione schematica in prospettiva di una porzione di un emettitore

dotato superficialmente, secondo l'invenzione, di un reticolo di diffrazione unidimensionale, ovvero con rilievi periodici lungo una sola direzione;

- le figure 12 e 13 sono rappresentazioni schematiche in prospettiva di rispettive porzioni di due emettitori secondo l'invenzione, dotati superficialmente di un rispettivo reticolo di diffrazione bidimensionale, ovvero con rilievi periodici lungo due direzioni ortogonali sulla superficie dell'emettitore;

- la figura 14 è un grafico che mostra la riflettanza spettrale calcolata a temperatura ambiente per un filamento di tungsteno a superficie piana (curva RTc), la riflettanza spettrale misurata a temperatura ambiente per una lamina di tungsteno piana (curva RTm), la riflettanza spettrale calcolata per un filamento di tungsteno microstrutturato secondo l'invenzione con un reticolo unidimensionale (curva RM1) e quella di un filamento di tungsteno microstrutturato secondo l'invenzione con un reticolo bidimensionale (curva RM2); tutte le curve sono per angolo di incidenza di  $0^\circ$ .

- la figura 15 un grafico che mostra l'andamento della riflettanza a lunghezza d'onda di 550 nm in funzione dell'angolo di incidenza; le diverse curve

BUZZI, NOTARO &  
ANTONIELLI D'OULX  
s.r.l.

si riferiscono a riflettanza calcolata per un filamento di tungsteno a superficie piana (curva RT), riflettanza calcolata per un filamento di tungsteno microstrutturato secondo l'invenzione con reticolo bidimensionale (curva RM2), riflettanza calcolata per un filamento di tungsteno microstrutturato secondo l'invenzione con reticolo unidimensionale (curva RM1) per piano di vibrazione perpendicolare alle rigature del reticolo e infine riflettanza calcolata per un filamento di tungsteno microstrutturato con reticolo unidimensionale (curva RM1') per piano di vibrazione parallelo alle rigature del reticolo ( $90^\circ$ );

- le figure 16, 17, 18, 19, 20 sono grafici che mostrano l'andamento della riflettanza (curva RM1) in funzione della lunghezza d'onda di un filamento dotato secondo l'invenzione di un reticolo unidimensionale di tungsteno, con passo 0.275 micron, profondità dei rilievi 0.3 micron e fattore di riempimento (ovvero rapporto tra larghezza dei rilievi e periodo del reticolo) pari a 19%; le figure si riferiscono rispettivamente ad angolo di incidenza  $0^\circ$ ,  $50^\circ$ ,  $60^\circ$ ,  $70^\circ$ , e  $80^\circ$  a temperatura ambiente; in ciascuna figura è riportata la riflettanza spettrale di un filamento in tungsteno piano (curva RT) in pari condizioni di temperatura e angolo di incidenza, per

BUZZI, NOTARO &  
ANTONIELLI D'OULX  
s.r.l.

confronto;

- la figura 21 è un grafico che mostra la variazione percentuale di emissività spettrale del reticolo unidimensionale delle figure 14-18 per angolo di emissione  $0^\circ$ , rispetto al filamento in tungsteno piano;

- la figura 22 è un grafico che mostra la variazione percentuale di emissività spettrale dello stesso reticolo unidimensionale delle figure 14-18 per angolo di emissione  $80^\circ$  rispetto al filamento in tungsteno piano;

- la figura 23 è una rappresentazione schematica che mostra una possibile soluzione per aumentare l'angolo di emissione effettivo in un emettitore dotato di superficie microstrutturata antiriflesso secondo l'invenzione;

- la figura 24 è una rappresentazione schematica in sezione di una porzione di un emettitore secondo l'invenzione, con superficie microstrutturata ricoperta con uno strato di ossido;

- la figura 25 è un grafico che mostra la curva di assorbanza spettrale di uno strato di silicio cristallino di spessore pari a 20 micron, a temperatura ambiente;

- la figura 26 è un grafico che mostra le curve

BUZZI, NOTARO &  
ANTONIELLI D'OUX  
s.r.l.

di trasmittanza, riflettanza ed emissività spettrale (rispettivamente curve TF, RF e EF) di un emettitore dotato, secondo l'invenzione, di un film di rivestimento di 5 micron di carbonio amorfo ( $\alpha$ -C:H) con 25% di idrogeno a temperatura ambiente;

- la figura 27 è un grafico che mostra il confronto tra lo spettro di emissione di un corpo nero, o curva di Planck, a 2000K (curva CP) con lo spettro di emissione di un materiale avente caratteristiche ottiche a 2000K eguali a quelle del carbonio amorfo idrogenato (curva PCA) con angolo di incidenza  $0^\circ$ , e con lo spettro di un filamento in tungsteno (curva PT) nelle stesse condizioni di temperatura e angolo di incidenza;

- la figura 28 è un grafico che mostra l'emissività spettrale del carbonio amorfo idrogenato a temperatura ambiente (curva ECA) e l'emissività spettrale della grafite a temperatura ambiente (EG);

- la figura 29 è un grafico che rappresenta l'andamento dell'energia di bandgap ( $E_g$ ) in funzione della temperatura per germanio (curva Ge), silicio (curva Si), arseniuro di gallio (curva GaAs) e carburo di silicio (curva SiC);

- la figura 30 è un grafico che mostra l'emissività spettrale di uno strato di carburo di



BIZZI, NOTARO &  
ANTONELLI D'OULX  
s.r.l.

silicio a temperatura ambiente (curva ESiC) ed un ipotetico andamento dell'emissività spettrale del carburo di silicio a 2000K (curva ECSiC);

- la figura 31 è un grafico che mostra l'andamento della concentrazione intrinseca di portatori in funzione della temperatura per germanio (curva Ge), silicio (Curva Si), arseniuro di gallio (curva GaAs) e carburo di silicio (curva SiC);

- la figura 32 è una rappresentazione schematica in sezione di una porzione di un emettitore secondo l'invenzione, costituito da uno strato di materiale semiconduttore ad alta temperatura rivestito con uno strato antiriflesso in ossido refrattario;

- la figura 33 è un grafico che mostra a confronto l'emissività spettrale di un emettitore in carburo di silicio rivestito, secondo l'invenzione, da uno strato di ossido di ittrio (curva ESiCR) con quella di un emettitore di carburo di silicio di uguale spessore (curva ESiC).

In una prima possibile forma di attuazione, la caratteristica di assorbimento spettrale del filamento o emettitore secondo l'invenzione è ottenuta attraverso l'utilizzo di un materiale conduttore, ad esempio un metallo, opaco sia nel visibile sia nell'infrarosso ( $\tau=0$ ), e rivestendo tale

BUZZI, NOTARO &  
ANTONELLI DOULX  
s.r.l.

conduttore con mezzi anti-riflesso operanti per ridurre la riflettanza  $\rho$  nella regione visibile dello spettro, pur mantenendo elevata la riflettanza  $\rho$  nel vicino infrarosso (al di sopra di 0.78 micron di lunghezza d'onda).

I suddetti mezzi anti-riflesso possono essere ad esempio rivestimenti dielettrici monostrato o multistrato; la figura 3 mostra a tale scopo una porzione di un emettitore o filamento F in tungsteno dotato, secondo l'invenzione, di un rivestimento in ossido di ittrio RO, mentre la figura 4 illustra una porzione di un emettitore F in tungsteno dotato, secondo l'invenzione, di un rivestimento multistrato, ossia presentante un'alternanza di strati RP dielettrici o semiconduttori a diverso indice di rifrazione, in cui la combinazione dello spessore e dell'indice di rifrazione dei materiali costituenti i diversi strati RP è tale da massimizzare la riflettanza nella regione infrarossa dello spettro e minimizzare la riflettanza nella regione visibile dello spettro.

Le figure 5, 7 e 9 mostrano invece l'emissività spettrale a diversi angoli di un emettitore di tungsteno F rivestito da uno strato RO di ossido di ittrio o (ittria), rappresentata dalle curve ER,

BUZZI, NOTARO &  
ANTONELLI DOULX  
s.r.l.

confrontata con quella del tungsteno semplice, rappresentata dalle curve ET.

Come visibile ad esempio in figura 5, la presenza di uno strato di 50 nm di ittria consente di aumentare significativamente l'emissività nella regione del visibile (da 0.5 a 0.95 per lunghezza d'onda di 500 nm) a fronte di un aumento indesiderato, anche se molto più esiguo, nell'infrarosso vicino (da 0.3 a 0.4 per lunghezza d'onda di 1.5 micron). Il vantaggio è ancora più significativo a grandi angoli di emissione, come evidente ad esempio in figura 7; in particolare, a 60° rispetto alla normale, uno strato di ittria di spessore 55 nm porta ad un incremento di emissività nell'infrarosso vicino più esiguo (da 0.32 a 0.36 per lunghezza d'onda di 1.5 micron). Ad angoli ancora maggiori, l'emissività nell'infrarosso vicino diminuisce a fronte di un aumento nello spettro visibile; questo è chiaramente visibile in figura 9, dove si confrontano l'emissività spettrale del tungsteno a 75° (curva ET) con l'emissività spettrale, sempre a 75°, di un filamento di tungsteno rivestito da 60 nanometri di ittria (curva ER).

Moltiplicando le emissività spettrali delle figure 5, 7 e 9 per la curva di Planck a 2000K si

BUZZI, NOTARO &  
ANTONELLI D'OULX  
s.r.l.

ottengono le potenze spettrali emesse, rappresentate nelle figure 6, 8 e 10; l'operazione richiederebbe l'utilizzo di costanti ottiche per il tungsteno e per l'ittria relative alla temperatura di 2000K, ma la differenza rispetto alle costanti ottiche a temperatura T ambiente, per quanto significativa, non è rilevante ai fini della presente esposizione.

La presenza dello strato RO di ittria porta ad un incremento relativo di efficienza, definita come rapporto tra la potenza emessa nell'intervallo spettrale 0.38-0.78 micron e la potenza emessa nell'intervallo spettrale 0.3-3 micron, pari a 25%, 22% e 26% rispettivamente per angolo di emissione 0°, 60° e 75°.

Aumenti di efficienza più significativi si possono teoricamente ottenere utilizzando un rivestimento antiriflesso multistrato, ma sono praticamente limitati dalla scarsa varietà di indici di rifrazione in materiali refrattari, da utilizzare come strati di tale rivestimento.

Il valore di efficienza finale ottenuto con il rivestimento monostrato di ittria RO per emissione a 0° è pari a 6.5% equivalente a quanto ottenibile semplicemente aumentando la temperatura del filamento di tungsteno, in assenza di rivestimento, di circa



BUZZI, NOTARO &  
ANTONIELLI D'IOULX  
s.r.l.

100K.

In una seconda possibile implementazione della presente invenzione, l'incremento di efficienza di emissione visibile è ottenuto attraverso una opportuna microstrutturazione della superficie dell'emettitore o filamento per la lampada ad incandescenza.

Il comportamento antiriflesso desiderato si può ottenere sia con un reticolo unidimensionale, ossia con rilievi periodici lungo una sola direzione sulla superficie del filamento, sia con un reticolo di diffrazione bidimensionale, ossia con rilievi periodici lungo due direzioni ortogonali sulla superficie del filamento. A tale scopo, in figura 11 con F viene indicata una porzione di un emettitore secondo l'invenzione, il quale presenta superficialmente un reticolo di diffrazione R formato da microrilievi R1 periodici lungo una sola direzione; nel caso rappresentato nelle figure 12 e 13, invece, la porzione F di emettitore secondo l'invenzione presenta superficialmente un reticolo di diffrazione R formato da microrilievi R2 periodici lungo due direzioni ortogonali. Nelle figure 11-13, con h è indicata la profondità o altezza dei rilievi R1, R2, con D la larghezza dei rilievi e con P il

BUZZI, NOTARO &  
ANTONIELLI D'OUX  
s.r.l.

periodo del reticolo R; il fattore di riempimento del reticolo R è definito come rapporto  $D/P$  nel caso di figura 11, come rapporto  $D^2/P^2$  nel caso di figura 12 e come rapporto  $\pi D^2/(4P^2)$  nel caso di figura 13.

Il vantaggio del reticolo R formato dai microrilievi R1, R2 rispetto ai rivestimenti antiriflesso multi-strato sta nel fatto che è possibile portare il filamento a temperature maggiori, ad esempio 2500K, senza essere limitati dalla temperatura di fusione degli ossidi utilizzati come strati del rivestimento.

In figura 14, la curva  $RT_c$  rappresenta la riflettanza spettrale calcolata a temperatura ambiente per un filamento di tungsteno a superficie piana, la curva  $RT_m$  rappresenta la riflettanza spettrale misurata a temperatura ambiente per una lamina di tungsteno piana, la curva  $RM_1$  rappresenta la riflettanza spettrale calcolata per un filamento di tungsteno microstrutturato con un reticolo R unidimensionale (del tipo rappresentato in figura 11, con parametri  $D/P=0.15$ ,  $h=0.3$  micron,  $P=0.25$  micron) e la curva  $RM_2$  rappresenta la riflettanza spettrale calcolata di un filamento di tungsteno microstrutturato con un reticolo R bidimensionale (del tipo rappresentato in figura 12, con parametri

BUZZI, NOTARO &  
ANTONELLI D'OUX  
s.r.l.

$D^2/P^2=0.15$ ,  $h=0.1$  micron,  $P=0.25$  micron). I dati di figura 14 si riferiscono a temperatura ambiente e ad un angolo di incidenza pari a  $0^\circ$ .

Dalla figura 14 è immediato rilevare il diverso andamento della riflettanza tra filamenti piani in tungsteno e filamenti strutturati secondo l'invenzione. La figura 15 mostra invece l'andamento della riflettanza a lunghezza d'onda di 550 nm in funzione dell'angolo di incidenza; in particolare:

- la curva RT si riferisce alla riflettanza calcolata per un tradizionale filamento di tungsteno a superficie piana,

- la curva RM2 si riferisce alla riflettanza calcolata per un primo filamento di tungsteno secondo l'invenzione, microstrutturato con reticolo R bidimensionale (del tipo rappresentato in figura 12, con parametri  $D^2/P^2=0.15$ ,  $h=0.1$  micron,  $P=0.25$  micron),

- la curva RM1 si riferisce alla riflettanza calcolata per un secondo filamento di tungsteno secondo l'invenzione, microstrutturato con reticolo R unidimensionale (del tipo rappresentato in figura 11, con parametri  $D/P=0.15$ ,  $h=0.3$  micron,  $P=0.25$  micron), per piano di vibrazione perpendicolare alle rigature R1 del reticolo, e

BUZZI, NOTARO &  
ANTONIELLI D'OUX  
s.r.l.

- la curva RM1' si riferisce alla riflettanza calcolata per il filamento di tungsteno microstrutturato con reticolo R unidimensionale, ma per piano di vibrazione parallelo alle rigature R1 del reticolo ( $90^\circ$ ).

Anche dalla figura 15 è immediato rilevare il diverso andamento della riflettanza tra filamenti piani in tungsteno e filamenti strutturati secondo l'invenzione. Come evidente, la strutturazione superficiale del tungsteno che realizza l'emettitore consente di abbassare in modo significativo il valore di riflettanza nel visibile a fronte di una riduzione di riflettanza decisamente inferiore nell'infrarosso vicino.

In realtà, per capire l'entità dell'aumento di efficienza occorre considerare le curve di variazione percentuale dell'emissività spettrale; si ha un effettivo miglioramento dell'efficienza soltanto nel caso in cui la variazione relativa di emissività nel visibile è maggiore della variazione relativa di emissività nell'infrarosso vicino.

Un risultato interessante, presentato per la prima volta dalla presente invenzione, è il fatto che le caratteristiche antiriflesso del reticolo R unidimensionale si mantengono anche quando il piano



BUZZI, NOTARO &  
ANTONIELLI D'OULX  
s.r.l.

di vibrazione è parallelo alle rigature del reticolo (curva RM1' di figura 15).

Le figure 16, 17, 18, 19, 20 mostrano l'andamento della curva RM1 di riflettanza in funzione della lunghezza d'onda per un reticolo R unidimensionale di tungsteno secondo l'invenzione, con passo 0.275 micron, profondità h dei rilievi 0.3 micron e fattore di riempimento D/P (ovvero rapporto tra larghezza dei rilievi e periodo del reticolo) pari a 19%. In particolare le figure si riferiscono rispettivamente ad angoli di incidenza di 0°, 50°, 60°, 70°, e 80°; in ciascuna figura è riportata la curva RT di riflettanza spettrale del tungsteno piano, per confronto.

Si osservi come, al di sopra dei 60°, la riflettanza del reticolo R nell'infrarosso vicino diventa inferiore a quella del tungsteno piano; questo comporta un aumento di efficienza nel visibile che è superiore al caso di incidenza normale. Moltiplicando le emissività relative ai diversi angoli (ottenute come opposto della riflettanza) per la curva di Planck a 2500K si ottiene una variazione di efficienza rispettivamente del -2%, +10%, +23% , +48% e +90%. La riduzione di efficienza nel caso di angolo di emissione 0° è dovuta al fatto che,

BUZZI, NOTARO &  
ANTONIELLI D'OULX  
s.r.l.

nonostante l'aumento di emissività in termini assoluti sia molto superiore nella parte visibile che nella parte infrarossa dello spettro, la variazione relativa è superiore nell'infrarosso (come evidente in figura 21). E' altresì evidente come l'aumento di efficienza sia particolarmente significativo ai grandi angoli; mediamente tra  $50^\circ$  e  $80^\circ$  l'efficienza aumenta del 35%. L'efficienza quasi raddoppia a  $80^\circ$ , grazie alla forte diminuzione relativa dell'emissività spettrale nell'infrarosso (si veda figura 22).

Questo suggerisce quindi la possibilità di realizzare una sorgente ad incandescenza, in cui la forma macroscopica dell'emettitore è caratterizzata da un corrugamento finalizzato ad aumentare l'angolo medio di emissione rispetto alla direzione normale alla superficie dell'emettitore, mentre un reticolo antiriflesso microscopico sulla superficie dell'emettitore permette di incrementare l'efficienza di emissione a grande angolo; un esempio di questa forma di attuazione dell'invenzione è rappresentato in figura 23, ove con MA è indicata la superficie dell'emettitore dotato di microstruttura antiriflesso.

La corrugazione non modifica il lobo di emissione

BUZZI, NOTARO &  
ANTONIELLI D'OUX  
s.r.l.

rispetto al piano  $\kappa$ , che rimane sostanzialmente lambertiano, ma fa sì che la radiazione emessa nel cono  $[-\gamma, +\gamma]$  rispetto alla direzione normale al piano  $\kappa$ , sia in realtà emessa con un angolo rispetto alla direzione normale alla superficie dell'emettitore (o angolo di emissione effettivo) compreso nell'intervallo  $[\beta-\gamma, \beta+\gamma]$ . Essendo il lobo di emissione lambertiano, il massimo di intensità si ha in corrispondenza di  $\gamma=0$ , che corrisponde ad angolo di emissione effettivo pari a  $\beta$ . Per ogni  $\gamma$  compreso nell'intervallo  $[-90+\beta, 90-\beta]$  in generale si hanno due angoli di emissione effettivi,  $\beta+\gamma$  e  $\beta-\gamma$ . Per  $\gamma > 90-\beta$  l'angolo di emissione effettivo è  $\beta-\gamma$ , mentre per  $\gamma < -90+\beta$  l'angolo di emissione effettivo è  $\beta+\gamma$ . Ad esempio per  $\beta=60^\circ$ , e  $\gamma=40^\circ$  si ha un angolo di emissione effettivo pari a  $20^\circ$ , mentre per  $\gamma=20^\circ$  si hanno due angoli di emissione effettivi, uno a  $40^\circ$  ed uno a  $80^\circ$ . Il concetto è rappresentato in figura 23 nel caso bidimensionale, ma può essere facilmente trasferito al caso tridimensionale.

In generale il reticolo antiriflesso previsto secondo l'invenzione può anche essere multilivello o a profilo continuo, il che consente di aumentare i gradi di libertà per l'ottimizzazione del reticolo ed incrementare ulteriormente l'efficienza.

BUZZI, NOTARO &  
ANTONIELLI D'OUX  
s.r.l.

In accordo ad un'ulteriore configurazione, il reticolo di diffrazione può essere rivestito con uno o più strati di ossido refrattario, ad esempio ossido di ittrio, al fine di incrementare ulteriormente i gradi di libertà nell'ottimizzazione dell'efficienza. Un tale caso viene rappresentato schematicamente in figura 24, ove con F viene indicato un filamento dotato del reticolo di diffrazione formato da rilievi R1, il reticolo essendo ricoperto da uno strato di ossido RO. Inoltre, la presenza di un rivestimento di ossido può consentire di operare il filamento in condizioni di vuoto meno spinto o, in linea di principio, anche in aria senza andare incontro a fenomeni di ossidazione del filamento; in ogni caso, sia in condizioni di vuoto che in atmosfera di gas inerte, la presenza del rivestimento di ossido consente di ridurre il tasso di evaporazione del tungsteno e quindi aumentare la vita media della sorgente.

Un'ulteriore possibile implementazione della presente invenzione consiste nel realizzare l'emettitore con un sottile strato di materiale semiconduttore, avente bassa riflettanza  $\rho$  sia nel visibile sia nell'infrarosso, alta trasmittanza  $\tau$  nell'infrarosso vicino e bassa trasmittanza  $\tau$  nel



BUZZI, NOTARO &  
ANTONELLI D'OUX  
s.r.l.

visibile. Questa caratteristica a T ambiente è tipica ad esempio del silicio o di altri semiconduttori avente bandgap  $E_g$  di valore prossimo alle transizioni visibili (1.6-3.2eV); infatti, su spessori sufficientemente sottili, un semiconduttore tende a trasmettere le lunghezze d'onda più lunghe, associate ad energia dei fotoni inferiore all'energia di bandgap  $E_g$ . Ad esempio, il silicio cristallino ha una bandgap  $E_g$  a temperatura ambiente di 1.1eV e tende per questo a trasmettere fotoni di energia inferiore a 1.1eV, ossia di lunghezza d'onda superiore ad 1.13 micron, definita dalla relazione  $\lambda_g = 1.2469/E_g$ .

Nel caso del silicio, i fotoni di energia molto superiore alla bandgap vengono riflessi, il che risulta in un assorbanza spettrale alta nel visibile e bassa sia nell'infrarosso sia nell'ultravioletto; a tale scopo, la figura 25 rappresenta la curva di assorbanza spettrale di uno strato di silicio cristallino di spessore 20 micron; questa è la ragione per cui il silicio è sempre stato storicamente utilizzato come rivelatore di radiazione visibile, nei sensori CCD, o come materiale per celle fotovoltaiche.

Si osservi che se il silicio fosse in grado di sostenere le alte temperature di un filamento ad

BUZZI, NOTARO &  
ANTONIELLI D'OUX  
s.r.l.

incandescenza e mantenesse le sue caratteristiche ottiche a tali temperature, sarebbe un emettitore quasi ideale, grazie alla discontinuità netta nella sua assorbanza spettrale in corrispondenza di 1.1 micron. A titolo speculativo, un materiale avente una simile curva di assorbanza spettrale avrebbe a 2000K un efficienza radiativa nel visibile superiore al 30%.

Un altro materiale con caratteristiche ottiche molto simili al silicio è il carbonio amorfo idrogenato  $\alpha$ -C:H, tipicamente utilizzato nei rivestimenti indurenti noti come "diamond-like-carbon" o DLC. L' $\alpha$ -C:H ha costanti ottiche che variano grandemente sulla base della percentuale di idrogeno; la figura 26 rappresenta le curve di trasmittanza TF, riflettanza RF ed emissività EF spettrale di un film di 5 micron di  $\alpha$ -C:H con 25% di idrogeno a temperatura ambiente; si può osservare che, come il silicio, il film di  $\alpha$ -C:H presenta un'elevata trasmittanza nell'infrarosso vicino ed un alto assorbimento nel visibile, il che lo renderebbe di nuovo un emettitore quasi ideale. Le oscillazioni nelle curve di riflettanza e trasmittanza sono dovute a fenomeni di interferenza tra le onde riflesse dalla prima e dalla seconda interfaccia del film; la

BUZZI, NOTARO &  
ANTONELLI D'OUX  
s.r.l.

frequenza di tali oscillazioni tende a crescere al crescere dello spessore dello strato.

La figura 27 confronta la curva di Planck CP, ossia lo spettro di emissione di un corpo nero, a 2000K con lo spettro di emissione di un filamento di un materiale avente caratteristiche ottiche a 2000K eguali a quelle del carbonio amorfo idrogenato (curva PCA) e con un filamento in tungsteno (curva PT); l'efficienza di tale ipotetico materiale sarebbe del 14%, contro il 5% del tungsteno.

Il carbonio, contrariamente al silicio, ha un punto di fusione molto alto ed è quindi in grado di raggiungere temperature di incandescenza; purtroppo, però, a temperature di poche centinaia di gradi l' $\alpha$ -C:H grafitizza e le sue costanti ottiche diventano quelle della grafite, che presenta purtroppo un alto valore di assorbimento anche nell'infrarosso; tale fatto è visibile in figura 28, ove sono messe a confronto l'emissività spettrale del carbonio amorfo idrogenato (curva ECA) e della grafite (curva EG).

Com'è noto, la temperatura ha un'influenza significativa sulle costanti ottiche dei materiali; nel caso di materiali semiconduttori, gli effetti principali di un incremento di temperatura sono la

BUZZI, NOTARO &  
ANTONELLI D'OULX  
s.r.l.

diminuzione dell'energia di bandgap  $E_g$  e l'aumento della concentrazione di elettroni in banda di conduzione e di lacune in banda di valenza, dovuto all'aumento di energia termica dei portatori di carica. La figura 29 rappresenta l'andamento di  $E_g$  in funzione della temperatura per germanio (curva Ge), silicio (curva Si), arseniuro di gallio (curva GaAs) e carburo di silicio (curva SiC); l'andamento è pressappoco lineare, con pendenza di poco dipendente dal valore di bandgap a temperatura ambiente. Dal punto di vista dell'assorbimento, l'abbassamento della bandgap porta ad uno spostamento dello spettro verso le lunghezze d'onda maggiori; ad esempio, a 1000K la bandgap del silicio è circa di 0.9eV, il che significa che il silicio a 1000K può assorbire radiazione di lunghezza d'onda fino a  $\lambda_g = 1.2469/E_g = 1.39$  micron e per spessori sufficientemente sottili trasmetterà la radiazione di lunghezza d'onda superiore a  $\lambda_g$ . La bandgap dell'arseniuro di gallio a 1000K si porta invece da 1.4eV (temperatura ambiente) a 1.1eV ed è quindi lecito attendersi uno spettro di assorbimento simile, ovviamente non in termini assoluti, a quello del silicio a temperatura ambiente.

Particolarmente interessante a questo proposito è



BJZZI, NOTARO &  
ANTONIELLI D'OUX  
s.r.l.

il carburo di silicio, o SiC, grazie al valore elevato della temperatura di fusione che lo rende un materiale potenzialmente utilizzabile in sorgenti ad incandescenza. Il SiC ha una bandgap a temperatura ambiente intorno a 3.2eV, il che fa sì che per spessori sufficientemente sottili il materiale trasmetta al di sopra di  $\lambda_g = 1.2469/E_g = 386$  nm.

La bandgap si riduce significativamente al crescere della temperatura portando il valore di  $\lambda_g = 1.2469/E_g$  a 2000K intorno a 540 nm. Questo garantirebbe una emissione efficace di radiazione nel visibile fino a 540 nm ed una emissione molto bassa nello spettro rosso/infrarosso. Questa situazione è rappresentata in figura 30, dove è riportata l'emissività spettrale di uno strato di 20 micron di carburo di silicio (curva EsiC) a temperatura ambiente ed un ipotetico spostamento della curva al crescere della temperatura verso le lunghezze d'onda maggiori (curva ECSiC).

Ovviamente i valori di assorbanza spettrale sono anche influenzati dalla variazione della concentrazione intrinseca di portatori e dalle modificazioni della struttura cristallina. In generale, al crescere della temperatura cresce la concentrazione di portatori liberi e aumenta quindi

BUZZI, NUTARO &  
ANTONIELLI D'OULEX  
s.r.l.

l'assorbimento. Tale aumento interessa anche la regione spettrale dell'infrarosso, con conseguente riduzione di efficienza dell'emettitore. Tuttavia, se lo spessore dello strato è sufficientemente piccolo, l'assorbimento nel vicino infrarosso rimane basso e l'emettitore mantiene alta efficienza.

La figura 31 mostra l'andamento della concentrazione intrinseca di portatori in funzione della temperatura per germanio (curva Ge), silicio (curva Si), arseniuro di gallio (curva GaAs) e carburo di silicio (curva SiC); come evidente, la concentrazione decresce esponenzialmente al crescere del rapporto  $1/T$ . Come evidente dal grafico, la concentrazione intrinseca (in  $\text{cm}^{-3}$ ) nel SiC a 2000K è dell'ordine di  $10^{16}$ , valore tipico di un silicio debolmente drogato.

In un'ulteriore configurazione secondo l'invenzione, schematizzata in figura 32, le caratteristiche relative alle due configurazioni precedentemente menzionate sono combinate in modo da realizzare un emettitore F costituito da uno strato di materiale semiconduttore ad alta temperatura, quale il carburo di silicio, avente elevata trasmittanza nell'infrarosso vicino e buona assorbanza nel visibile, rivestito con uno strato

BUZZI, NOTARO &  
ANTONIELLI D'OUX  
s.r.l.

antiriflesso RO, ad esempio un singolo strato di ossido refrattario, tale da massimizzare l'assorbimento dell'emettitore nel visibile senza incrementare l'assorbimento nell'infrarosso vicino.

A titolo di esempio, questo si può ottenere rivestendo uno strato di 20 micron di SiC (che realizza l'emettitore F, con uno strato RO di 20 nm di ittria; la figura 33 mette a confronto l'emissività spettrale di un siffatto emettitore (curva EsiCR) con quella di un emettitore di solo carburo di silicio di uguale spessore (Curva EsiC). In alternativa, il comportamento antiriflesso nel visibile può essere ottenuto attraverso una microstrutturazione superficiale del semiconduttore, secondo una qualsiasi delle tecniche precedentemente esposte con riferimento alle figure 11-13.

Da quanto sopra descritto risulta pertanto chiaro come, nelle varie possibili implementazioni dell'invenzione, definita  $\alpha(\lambda, T)$  l'assorbanza spettrale dell'emettitore alla temperatura operativa T, la quale assorbanza è legata alla riflettanza spettrale  $\rho(\lambda, T)$  ed alla trasmittanza spettrale  $\tau(\lambda, T)$  dalla relazione  $\alpha(\lambda) = 1 - \rho(\lambda, T) - \tau(\lambda, T)$ , la composizione e/o struttura dell'emettitore secondo l'invenzione possono essere ottimizzate in modo da minimizzare  $\alpha(\lambda)$

EUZZI, NOTARO &  
ANTONELLI D'OUX  
s.r.l.

per  $\lambda$  appartenente alla regione visibile dello spettro e massimizzare  $\alpha(\lambda)$  per  $\lambda$  appartenente alla regione infrarossa dello spettro.

In tal modo, a parità di temperatura operativa  $T$ , il rapporto tra la radiazione emessa nella regione visibile dello spettro e la radiazione emessa nella regione infrarossa dello spettro per un emettitore secondo l'invenzione risulta maggiore dello stesso rapporto rispetto al caso di un filamento ad incandescenza tradizionale, con evidenti vantaggi in termini di efficienza della sorgente di luce.

Come evidenziato, i mezzi che consentono di raggiungere gli scopi preposti sono costituiti da strutturazioni superficiali dell'emettitore, oppure da particolari materiali, aventi un'elevata trasmittanza  $\tau(\lambda, T)$  alla radiazione infrarossa ed un'elevata assorbanza  $\alpha(\lambda, T)$  nella regione visibile dello spettro; detti materiali sono utilizzabili anche in combinazione, in modo tale per cui l'emettitore presenti un'elevata trasmittanza  $\tau(\lambda, T)$  alla radiazione infrarossa ed un'elevata assorbanza  $\alpha(\lambda, T)$  nella regione visibile dello spettro.

Naturalmente, fermo restando il principio del trovato, i particolari di costruzione e le forme di attuazione potranno ampiamente variare rispetto a



BUZZI, NOTARO &  
ANTONIELLI D'OUX  
s.r.l.

quanto descritto ed illustrato a puro titolo di esempio, senza per questo uscire dall'ambito della presente invenzione.

Nelle varie implementazioni, l'ossido di ittrio potrebbe essere sostituito dall'ossido di un metallo appartenente al gruppo delle terre rare.

Il reticolo di diffrazione superficiale dell'emettitore secondo l'invenzione potrebbe essere tridimensionale, ovvero periodico lungo due direzioni sostanzialmente perpendicolari tra loro e contenute nel piano del reticolo e lungo una terza direzione sostanzialmente perpendicolare alla superficie del reticolo. Come sopra accennato, il reticolo di diffrazione potrebbe essere multilivello, ad esempio a due o più livelli o avere un rilievo variabile in modo continuo all'interno del periodo.

I mezzi antiriflesso potrebbero essere in forma di reticolo di diffrazione di volume, avente una configurazione simile a quella visibile in figura 24, con una superficie esterna sostanzialmente piatta ed una modulazione periodica dell'indice di rifrazione complesso all'interno del volume dell'emettitore F.

\* \* \* \* \*

BUZZI, NOTARO &  
ANTONELLI D'OUX  
s.r.l.

\* \* \*

### RIVENDICAZIONI

1. Emittitore di luce per lampade ad incandescenza, in particolare un filamento, suscettibile di essere portato all'incandescenza tramite passaggio di corrente elettrica, l'emittitore avendo una rispettiva assorbanza spettrale  $\alpha(\lambda, T)$  ad una temperatura operativa  $T$  e per una lunghezza d'onda  $\lambda$ , l'assorbanza essendo legata alla riflettanza spettrale  $\rho(\lambda, T)$  ed alla trasmittanza spettrale  $\tau(\lambda, T)$  dalla relazione  $\alpha(\lambda) = 1 - \rho(\lambda, T) - \tau(\lambda, T)$ , caratterizzato dal fatto che sono previsti mezzi (R; RO; RP) per massimizzare l'assorbanza  $\alpha(\lambda)$  per  $\lambda$  appartenente alla regione visibile dello spettro e minimizzare l'assorbanza  $\alpha(\lambda)$  per  $\lambda$  appartenente alla regione infrarossa dello spettro, in modo tale per cui, a parità di temperatura operativa  $T$ , il rapporto tra la radiazione emessa nella regione visibile dello spettro e la radiazione emessa nella regione infrarossa dello spettro dell'emittitore sia maggiore rispetto allo stesso rapporto per un filamento ad incandescenza di tipo tradizionale.

2. Emittitore secondo la rivendicazione 1, caratterizzato dal fatto che è realizzato con uno o più materiali sostanzialmente opachi sia alla

EUZZI, NOTARO &  
ANTONELLI D'OUX  
s.r.l.

radiazione visibile sia alla radiazione infrarossa, ovvero con trasmittanza  $\tau(\lambda, T)$  sostanzialmente nulla.

3. Emettitore secondo la rivendicazione 2, caratterizzato dal fatto che detti mezzi (R; RO; RP) comprendono mezzi antiriflesso (R; RO; RP) operanti sulla riflettanza spettrale  $\rho(\lambda, T)$  dell'emettitore (F), in modo che la variazione relativa di assorbanza  $\alpha(\lambda, T)$  nella regione visibile dello spettro, conseguente all'impiego di detti mezzi antiriflesso, sia maggiore della variazione relativa di assorbanza  $\alpha(\lambda, T)$  nella regione infrarossa dello spettro.

4. Emettitore secondo la rivendicazione 1, caratterizzato dal fatto che detti mezzi (R; RO; RP) comprendono uno o più materiali (RO, RP) aventi un'elevata trasmittanza  $\tau(\lambda, T)$  alla radiazione infrarossa ed un'elevata assorbanza  $\alpha(\lambda, T)$  nella regione visibile dello spettro, ove detti materiali sono in particolare in combinazione tale per cui l'emettitore (F) presenti un'elevata trasmittanza  $\tau(\lambda, T)$  alla radiazione infrarossa ed un'elevata assorbanza  $\alpha(\lambda, T)$  nella regione visibile dello spettro.

5. Emettitore secondo la rivendicazione 3, caratterizzato dal fatto che detti mezzi antiriflesso comprendono un rivestimento antiriflesso (R; RO; RP)

FUZZI, NOTARO &  
ANTONELLI D'OUX  
s.r.l.

dell'emettitore (F).

6. Emettitore secondo la rivendicazione 5, caratterizzato dal fatto detto rivestimento antiriflesso (R; RO; RP) è del tipo multi-strato (RP), in particolare presentante un'alternanza di strati dielettrici o semiconduttori (RP) a diverso indice di rifrazione, in cui la combinazione dello spessore e dell'indice di rifrazione dei materiali costituenti i diversi strati è tale da massimizzare la riflettanza  $\rho(\lambda, T)$  nella regione infrarossa dello spettro e minimizzare la riflettanza  $\rho(\lambda, T)$  nella regione visibile dello spettro.

7. Emettitore secondo la rivendicazione 5, caratterizzato dal fatto che detto rivestimento antiriflesso (R; RO; RP) è costituito da un singolo strato di ossido refrattario (RO).

8. Emettitore secondo la rivendicazione 7, caratterizzato dal fatto che detto ossido refrattario è un ossido di ittrio depositato su un sottostrato di tungsteno dell'emettitore (F).

9. Emettitore secondo la rivendicazione 7, caratterizzato dal fatto che detto ossido refrattario è l'ossido di un metallo appartenente al gruppo delle terre rare.

10. Emettitore secondo la rivendicazione 3,



BUZZI, NOTARO &  
ANTONIELLI D'OUX  
s.r.l.

caratterizzato dal fatto che detti mezzi antiriflesso (R; RO; RP) comprendono un reticolo di diffrazione a rilievo (R) dell'emettitore (F), comprendente una pluralità di microrilievi (R1, R2), in cui la forma dei microrilievi, lo spessore dei microrilievi ed il periodo del reticolo sono tali da massimizzare la riflettanza  $\rho(\lambda, T)$  nella regione infrarossa dello spettro e minimizzare la riflettanza  $\rho(\lambda, T)$  nella regione visibile dello spettro.

11. Emittitore secondo la rivendicazione 10, caratterizzato dal fatto che detto reticolo di diffrazione (R) è unidimensionale, ovvero periodico lungo una sola direzione contenuta nel piano del reticolo.

12. Emittitore secondo la rivendicazione 10, caratterizzato dal fatto che detto reticolo di diffrazione (R) è bidimensionale, ovvero periodico lungo due direzioni sostanzialmente perpendicolari tra loro e contenute nel piano del reticolo.

13. Emittitore secondo la rivendicazione 10, caratterizzato dal fatto che detto reticolo di diffrazione è tridimensionale, ovvero periodico lungo due direzioni sostanzialmente perpendicolari tra loro e contenute nel piano del reticolo e lungo una terza direzione sostanzialmente perpendicolare alla

BUZZI, NOTARO &  
ANTONELLI D'OUX  
s.r.l.

superficie del reticolo.

14. Emettitore secondo la rivendicazione 10, caratterizzato dal fatto che detto reticolo di diffrazione è binario, ovvero a due livelli.

15. Emettitore secondo la rivendicazione 10, caratterizzato dal fatto che detto reticolo di diffrazione ha un rilievo con numero di livelli superiore a due.

16. Emettitore secondo la rivendicazione 10, caratterizzato dal fatto che detto reticolo di diffrazione ha un rilievo variabile in modo continuo all'interno del periodo.

17. Emettitore secondo la rivendicazione 10, caratterizzato dal fatto che detto reticolo di diffrazione (R) è ricavato attraverso una microstrutturazione superficiale dell'emettitore (F), quest'ultimo essendo in tungsteno.

18. Emettitore secondo la rivendicazione 3, caratterizzato dal fatto che detti mezzi antiriflesso comprendono un reticolo di diffrazione di volume, ovvero con una superficie esterna sostanzialmente piatta ed una modulazione periodica dell'indice di rifrazione complesso all'interno del volume dell'emettitore.

19. Emettitore secondo la rivendicazione 4,

BUZZI, NOTARO &  
ANTONIELLI D'OULX  
s.r.l.

caratterizzato dal fatto che almeno uno dei materiali che forma l'emettitore (F) è un materiale semiconduttore resistente ad alte temperature.

20. Emettitore secondo la rivendicazione 19, caratterizzato dal fatto detto materiale semiconduttore presenta una banda proibita alla temperatura operativa di energia superiore a 1eV.

21. Emettitore secondo la rivendicazione 20, caratterizzato dal fatto detto materiale semiconduttore è carburo di silicio.

22. Emettitore secondo la rivendicazione 4, caratterizzato dal fatto che detti mezzi comprendono un rivestimento antiriflesso (R; RO; RP) dell'emettitore (F), operante sulla riflettanza spettrale  $\rho(\lambda, T)$  dell'emettitore, in modo che la variazione relativa di assorbanza  $\alpha(\lambda, T)$  nella regione visibile dello spettro sia maggiore della variazione relativa di assorbanza  $\alpha(\lambda, T)$  nella regione infrarossa dello spettro.

23. Emettitore secondo la rivendicazione 22, caratterizzato dal fatto che detto rivestimento antiriflesso (R; RO; RP) è un rivestimento multistrato (RP), presentante in particolare un'alternanza di strati dielettrici o semiconduttori (RP) a diverso indice di rifrazione, in cui la combinazione dello

BUZZI, NOTARO &  
ANTONIELLI D'OULX  
s.r.l.

spessore e dell'indice di rifrazione dei materiali costituenti i diversi strati (RP) è tale da minimizzare la riflettanza  $\rho(\lambda, T)$  nella regione visibile dello spettro.

24. Emettitore secondo la rivendicazione 22, caratterizzato dal fatto che detto rivestimento antiriflesso (R; RO; RP) comprende un reticolo di diffrazione a rilievo (R) dell'emettitore (F), formato da microrilievi (R1; R2), in cui la forma dei microrilievi, lo spessore dei microrilievi ed il periodo del reticolo sono ottimizzati in modo tale da minimizzare la riflettanza  $\rho(\lambda, T)$  nella regione visibile dello spettro.

25. Emettitore secondo la rivendicazione 22, caratterizzato dal fatto che detto rivestimento antiriflesso (R; RO; RP) comprende un reticolo di diffrazione di volume, ovvero con una superficie esterna sostanzialmente piatta ed una modulazione periodica dell'indice di rifrazione complesso all'interno del volume dell'emettitore, detto reticolo di diffrazione di volume essendo ottimizzato in modo tale da minimizzare la riflettanza  $\rho(\lambda, T)$  nella regione visibile dello spettro.

26. Emettitore secondo una qualsiasi delle rivendicazioni precedenti, caratterizzato dal fatto




BUZZI, NOTARO &  
ANTONIELLI D'OUX  
s.r.l.

che opera a una temperatura inferiore a 2500K.

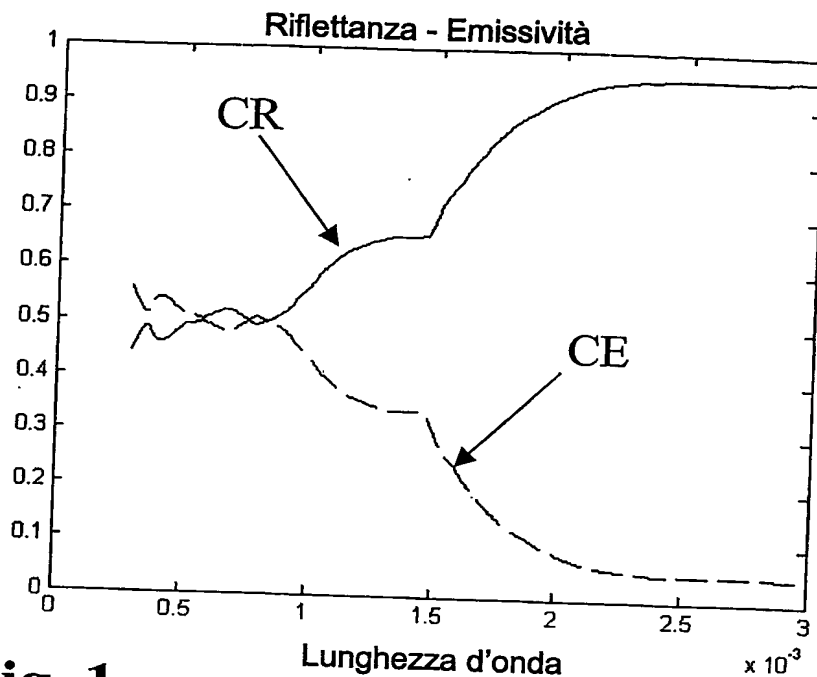
27. Una sorgente di luce ad incandescenza, comprendente un emettitore di luce (F) suscettibile di essere portato all'incandescenza tramite passaggio di corrente elettrica, caratterizzato al fatto che detto emettitore (F) è realizzato secondo una o più delle precedenti rivendicazioni.

Il tutto sostanzialmente come descritto ed illustrato e per gli scopi specificati.

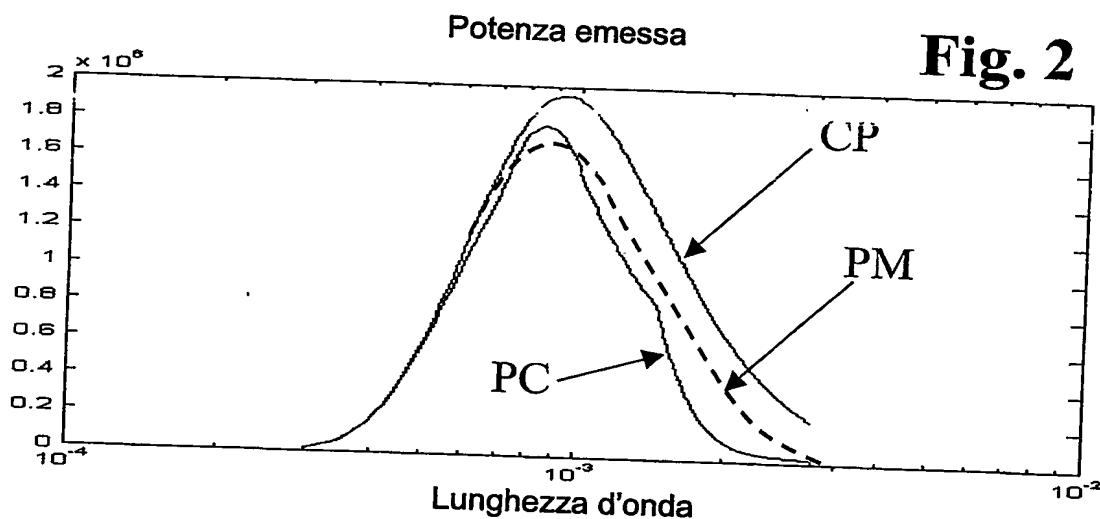
Ing. Glencarlo NOTARO  
N. Iscritt. ALBO 258  
i la proprio e per gli altri

 CAMERA DI COMMERCIO  
INDUSTRIA ARTIGIANATO E AGRICOLTURA  
DI TORINO

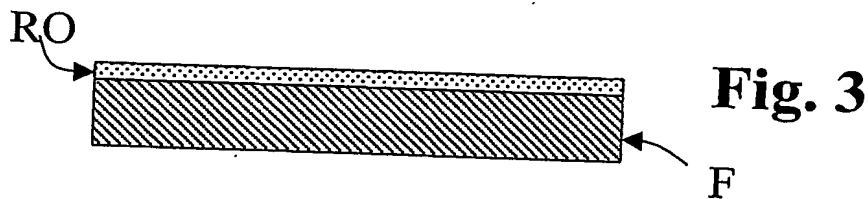
TO 003 A 000166



**Fig. 1**

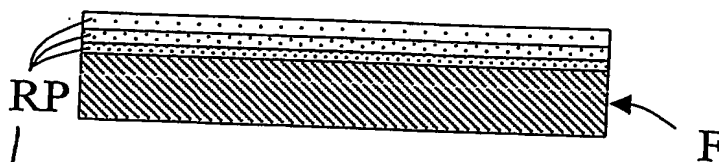


**Fig. 2**



**Fig. 3**

**Fig. 4**



CAMERA DI COMMERCIO  
INDUSTRIA ARTIGIANATO E AGRICOLTURA  
DI TORINO

Ing. Giancarlo NOTARO  
N. Iscriz. ALBO 258  
(in proprio e per gli altri)



Emissività spettrale

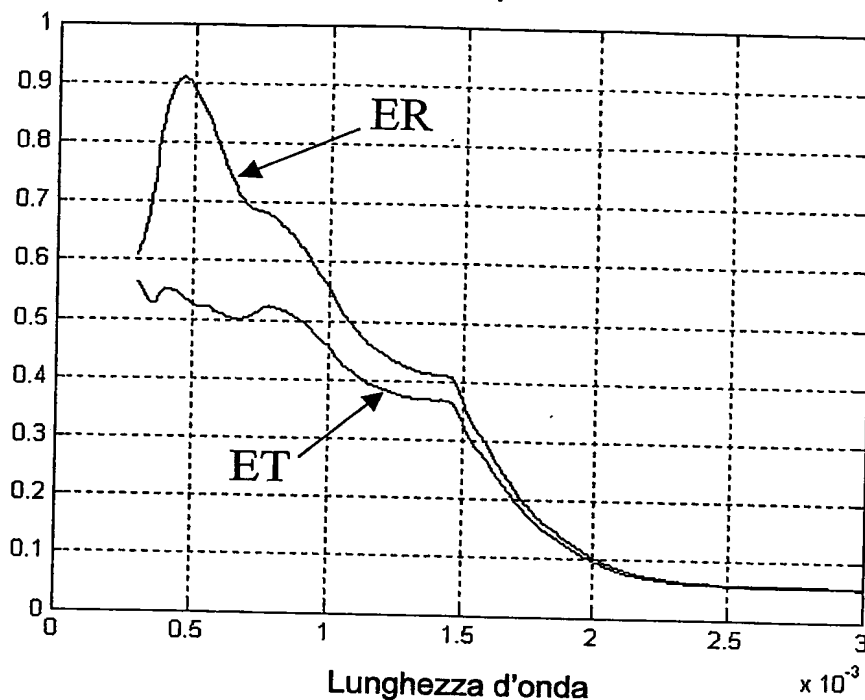


Fig. 7



Potenza emessa

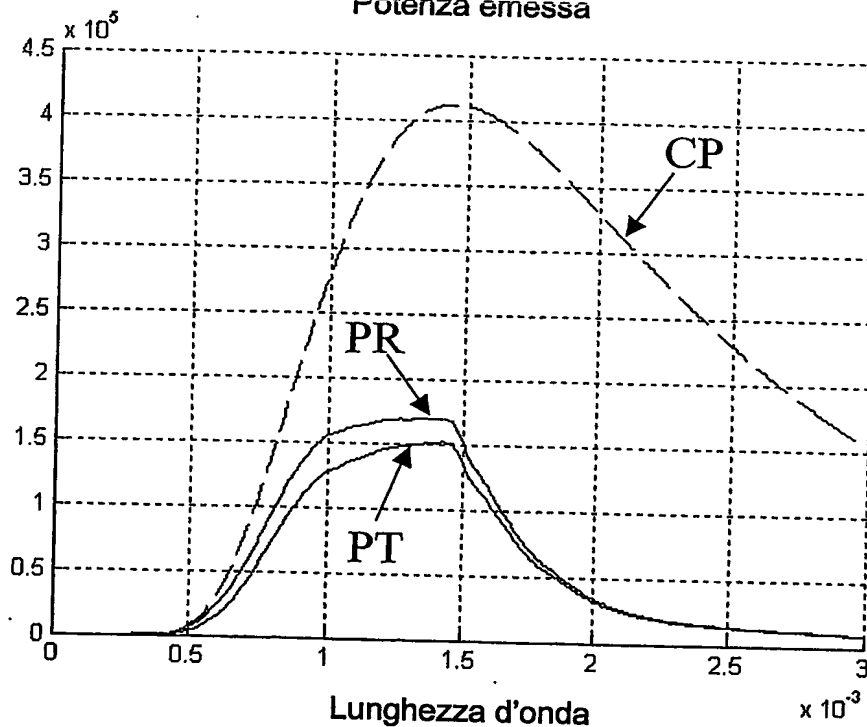
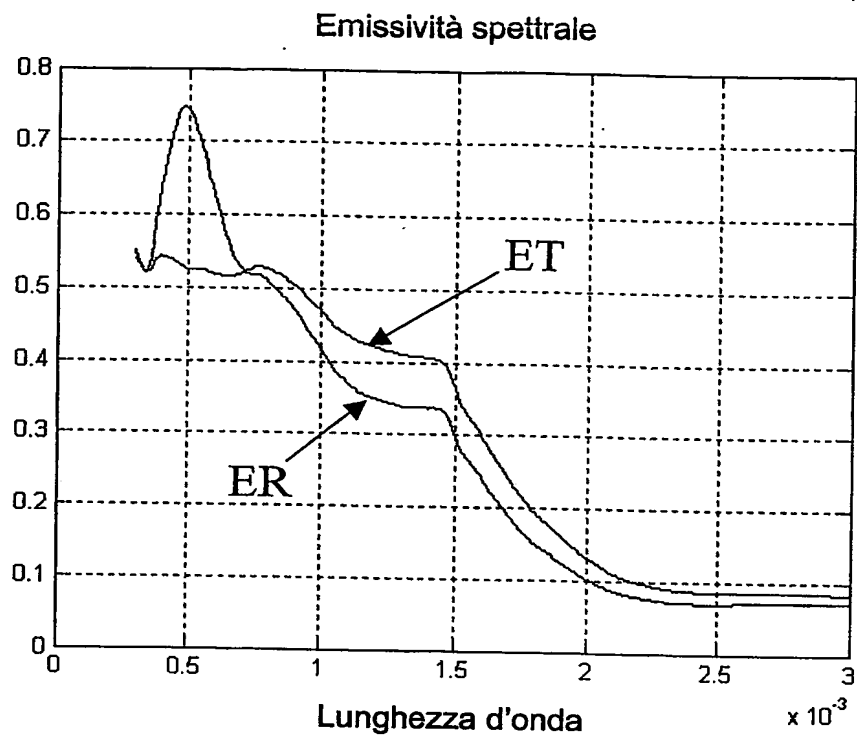
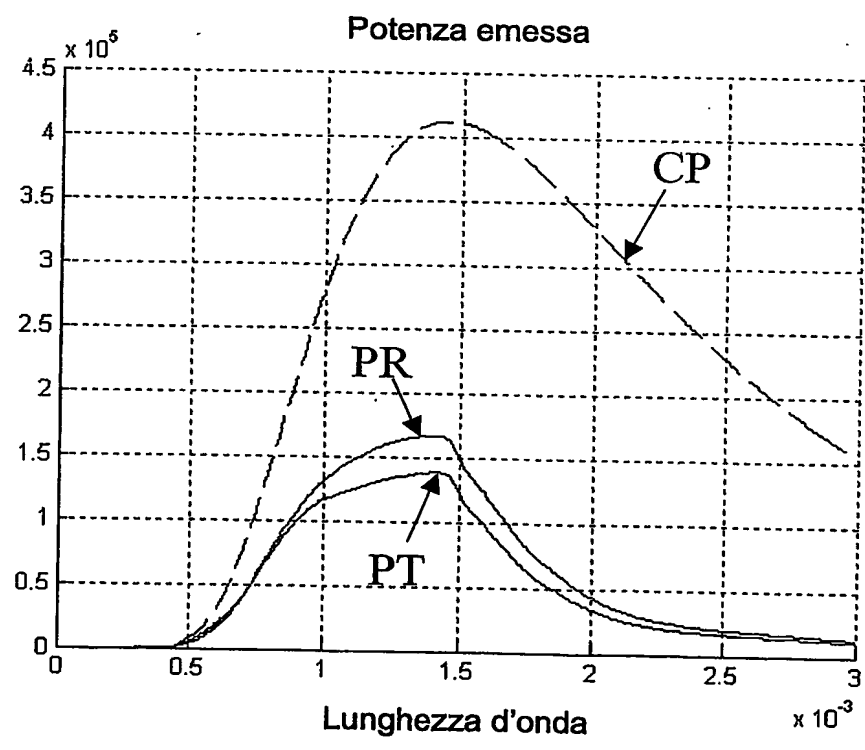


Fig. 8

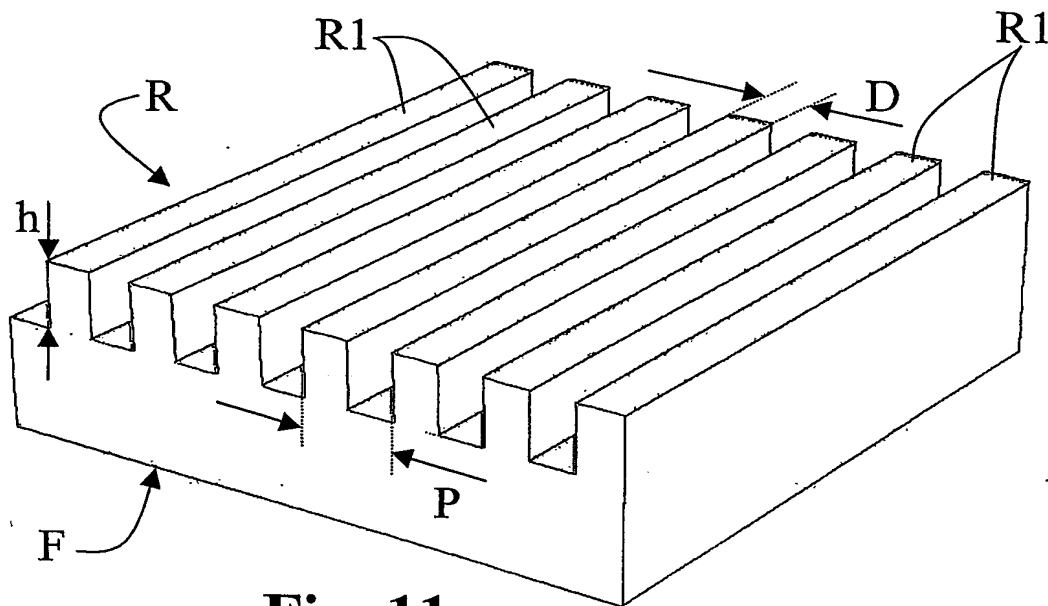
TO 003 A 000166



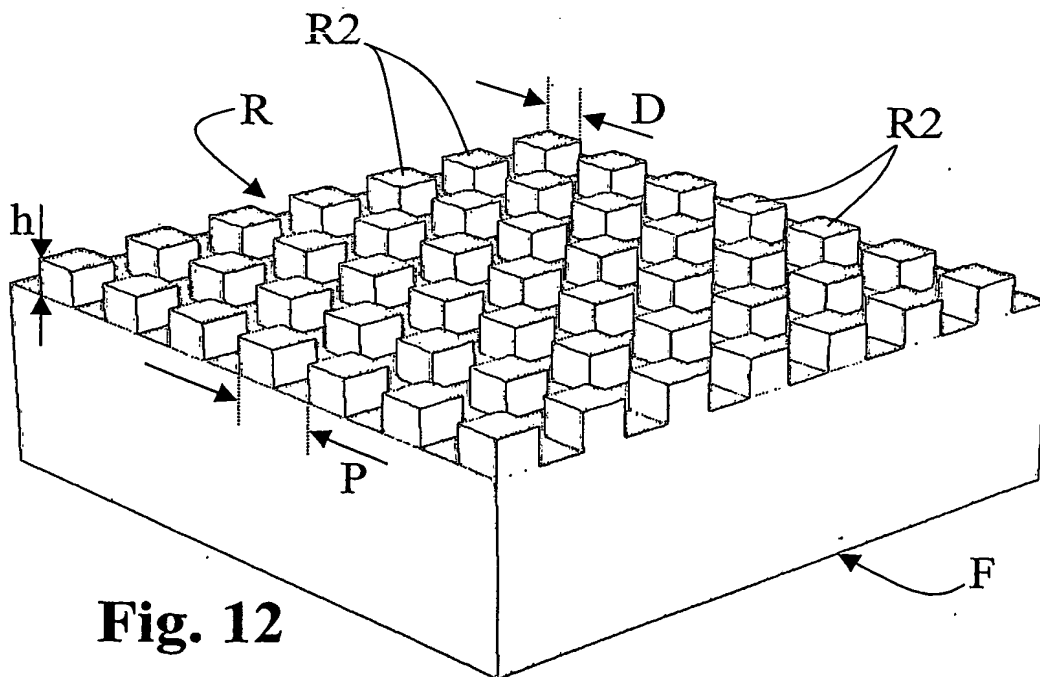
**Fig. 9**



**Fig. 10**



**Fig. 11**



**Fig. 12**



TO 2003A 000166

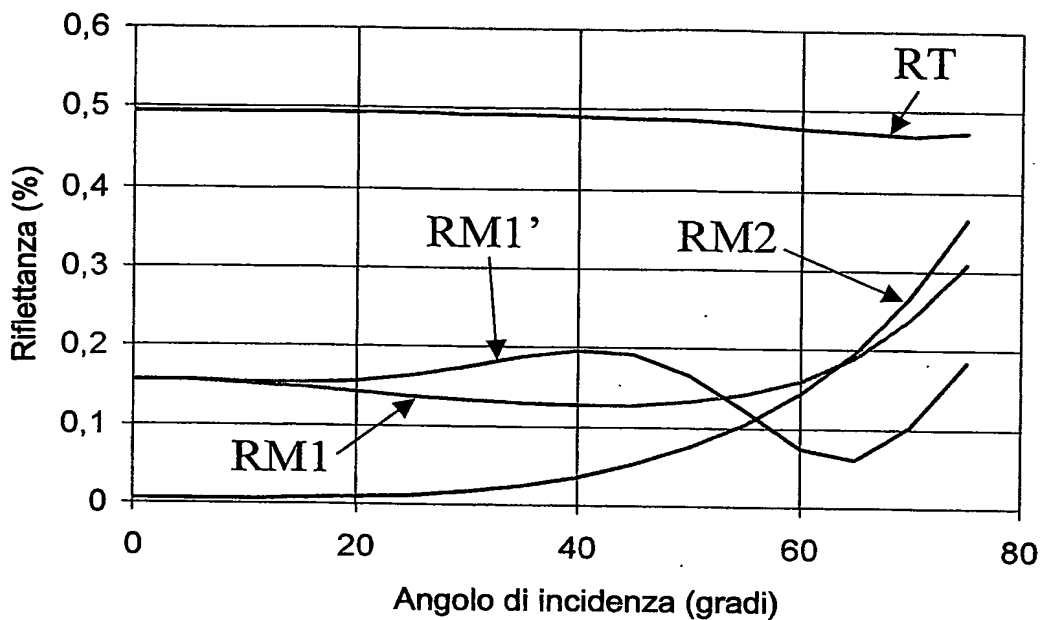


Fig. 15

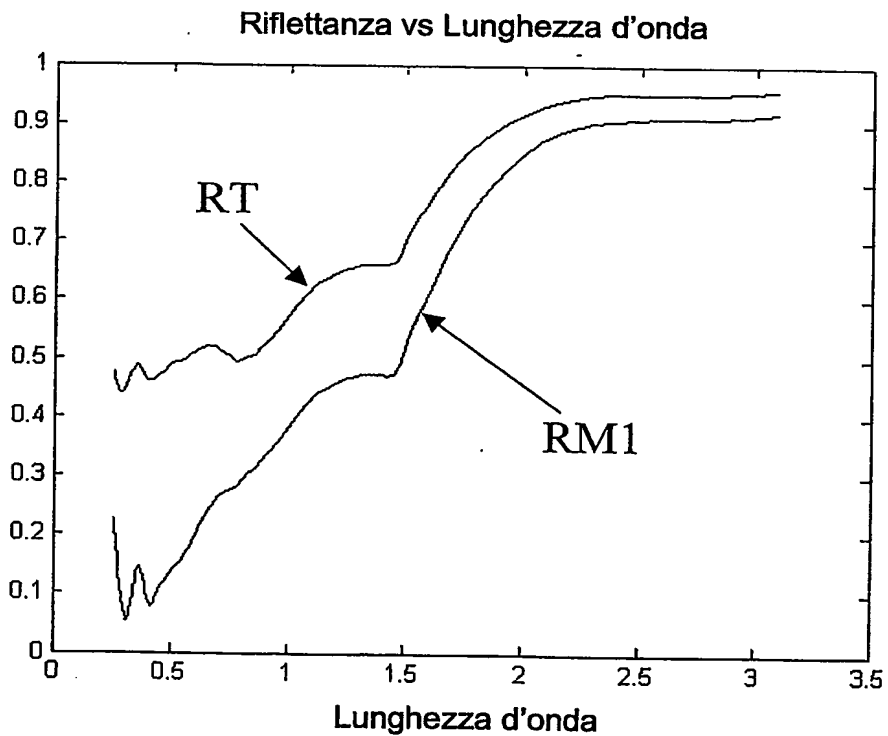


Fig. 16



TO 2003A 000166

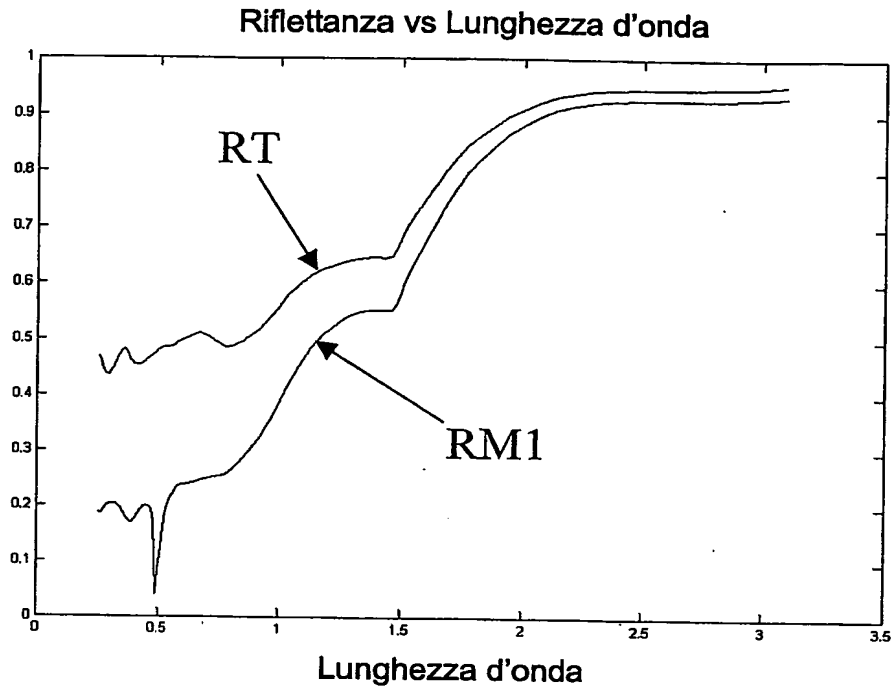


Fig. 17

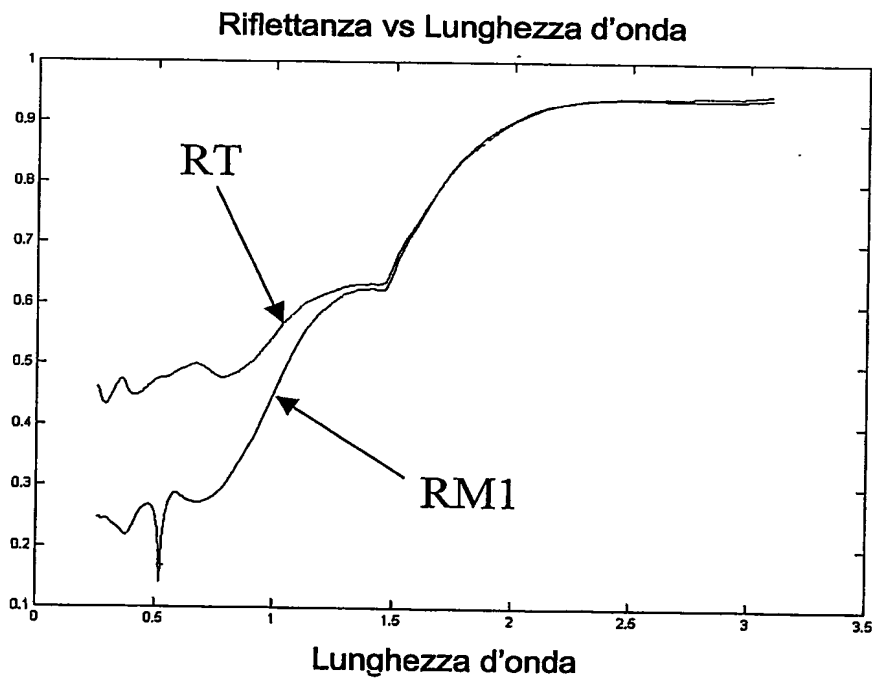


Fig. 18

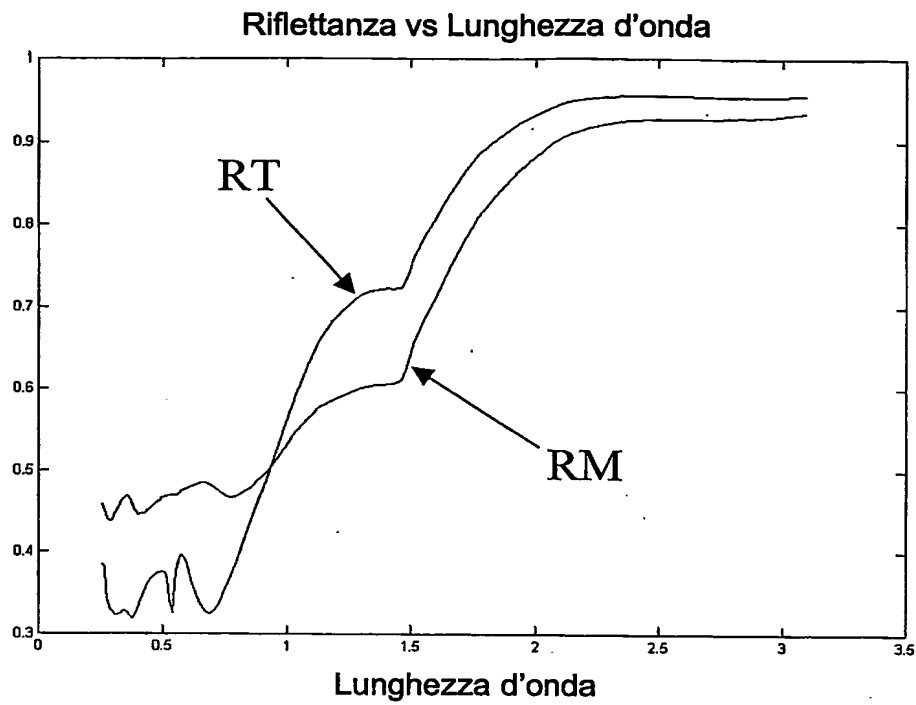


Fig. 19

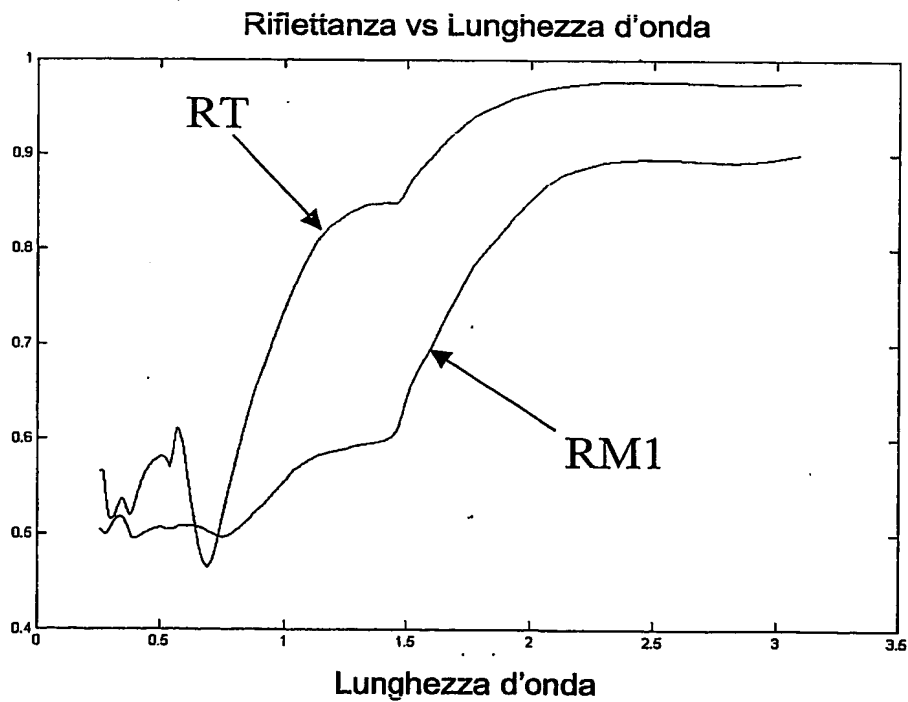


Fig. 20



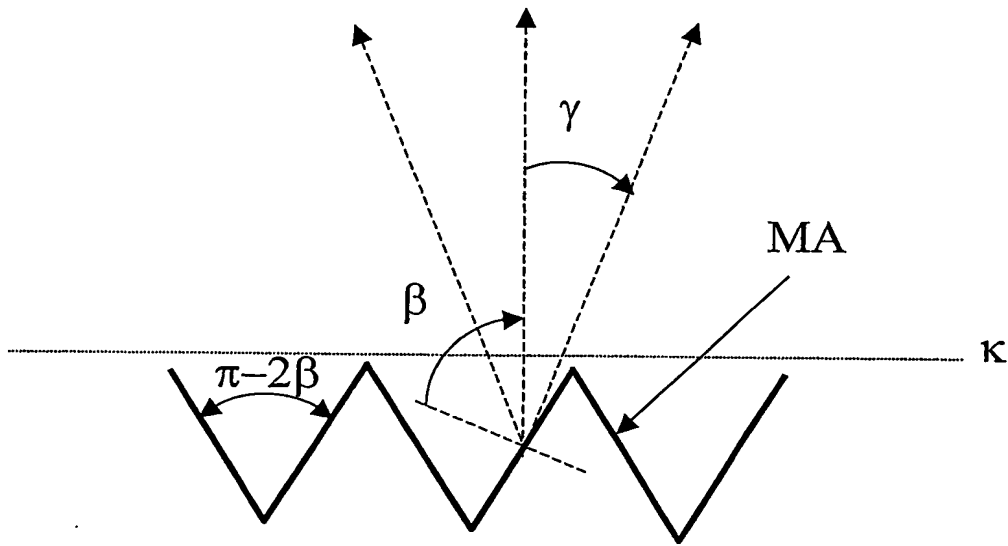


Fig. 23

Fig. 24

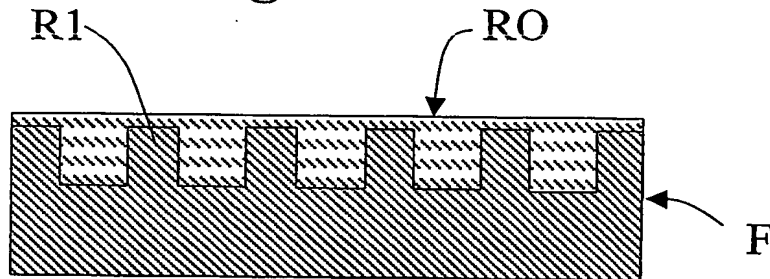
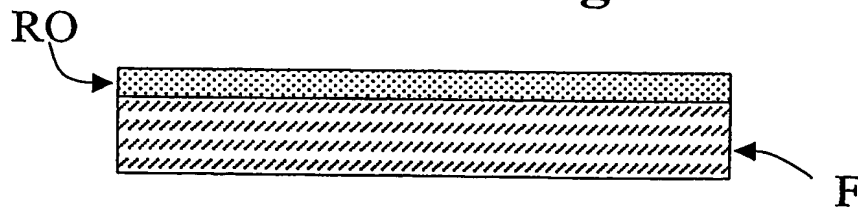
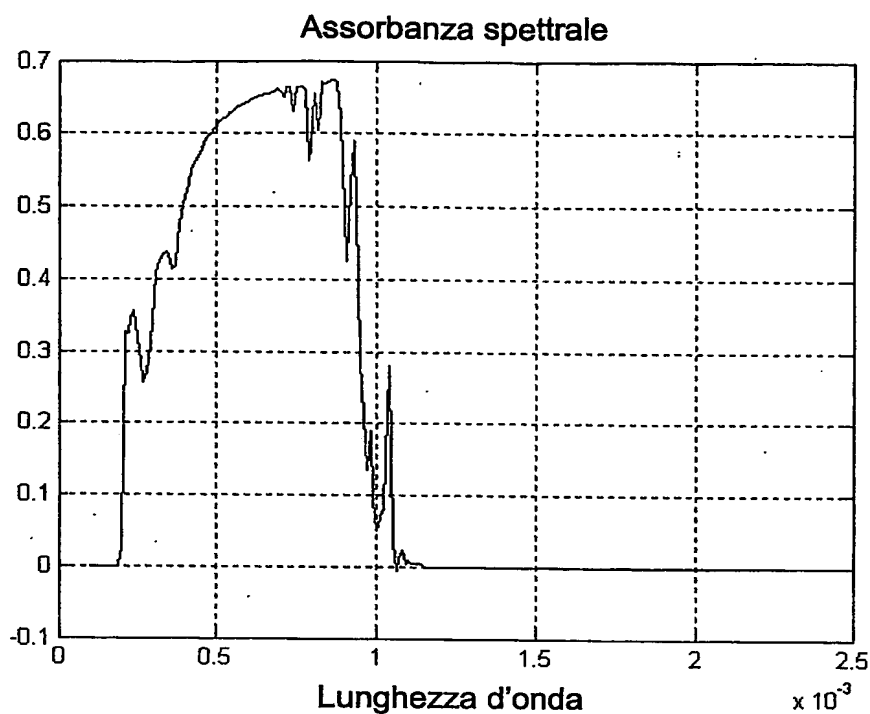
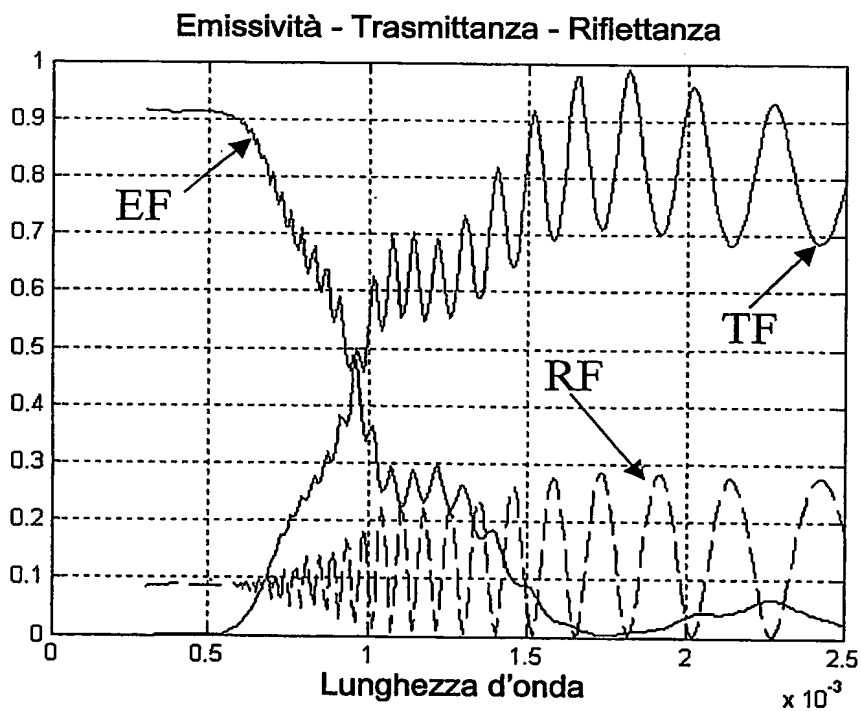


Fig. 32





**Fig. 25**



**Fig. 26**

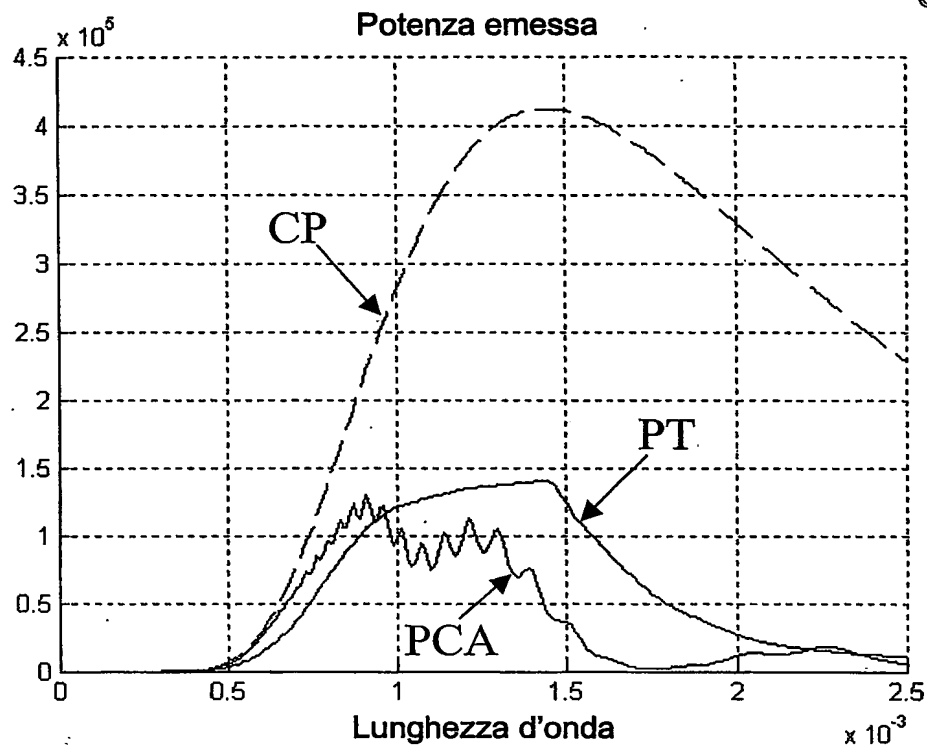


Fig. 27

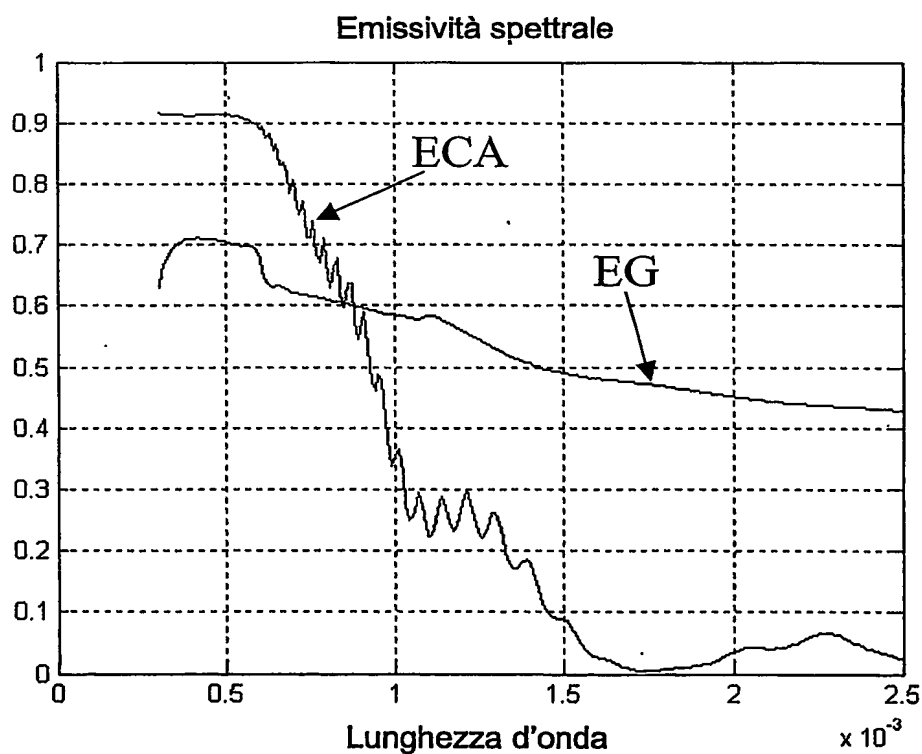
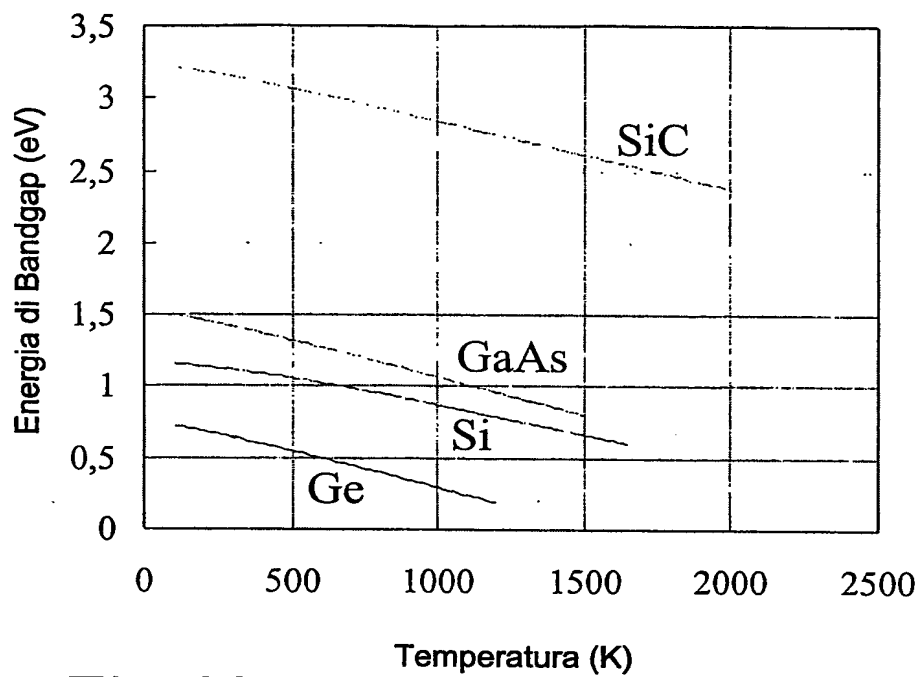
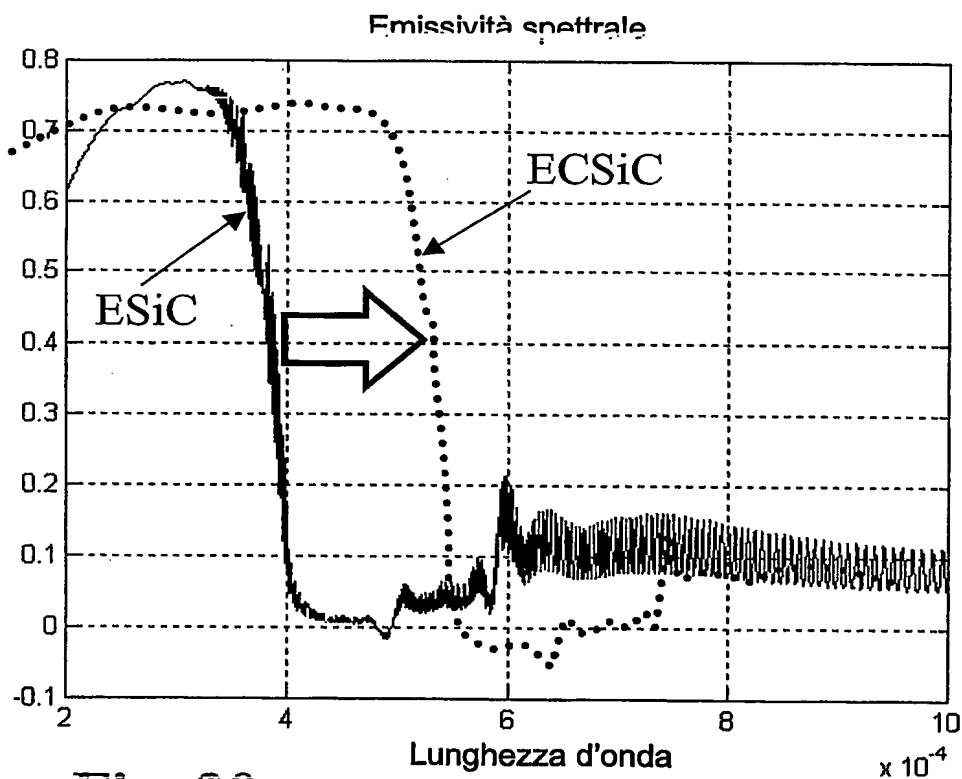


Fig. 28



**Fig. 29**



**Fig. 30**

TO 2003A 000166

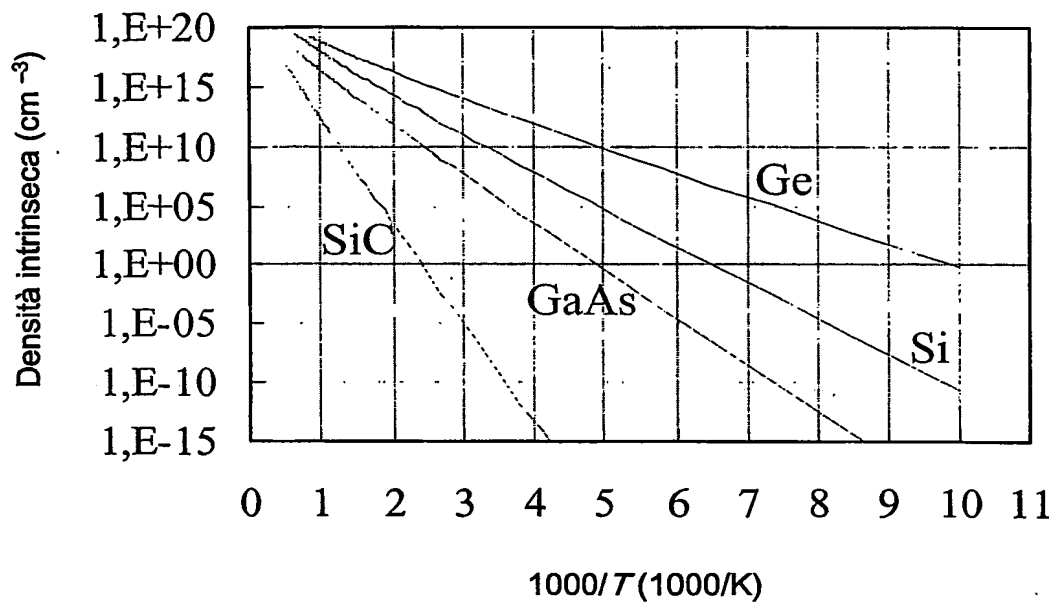


Fig. 31

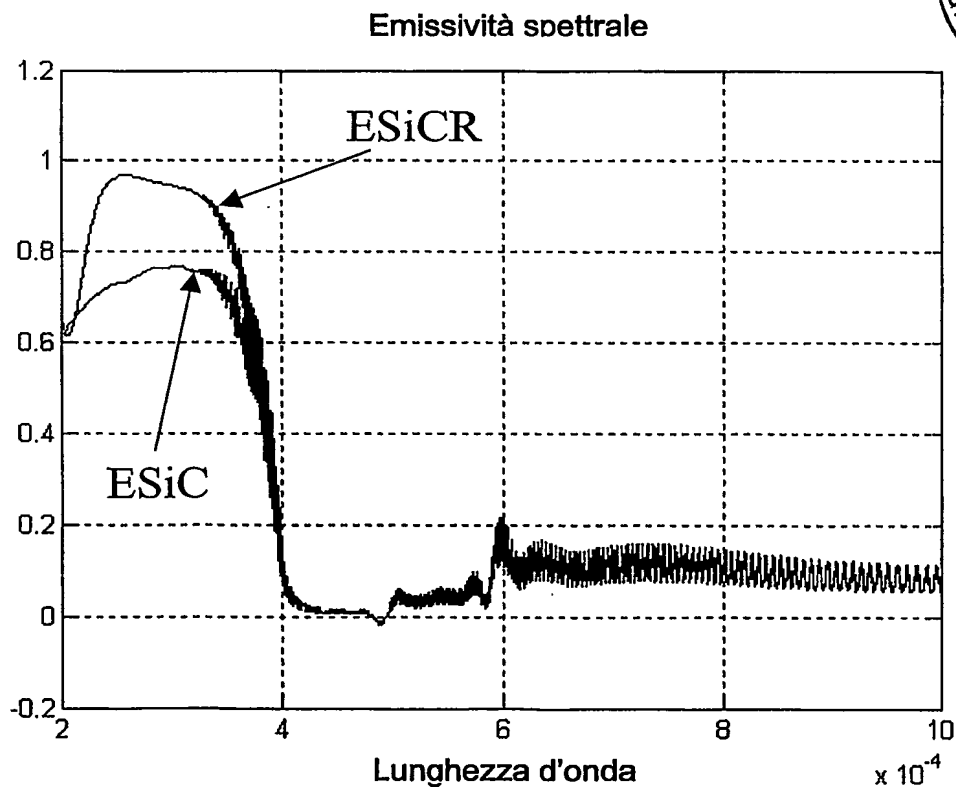


Fig. 33